

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**PATRÍCIA RAMALDES MENDONÇA**

**CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA MARIA DO RIO DOCE E SANTA  
JOANA/ES**

**VITÓRIA  
2013**

PATRÍCIA RAMALDES MENDONÇA

**CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA MARIA DO RIO DOCE E SANTA  
JOANA/ES**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geografia do Centro de Ciências  
Humanas e Naturais da  
Universidade Federal do Espírito  
Santo como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em  
Geografia na área de Natureza,  
Produção do Espaço e Território.

Orientador: Profº. Drº. André Luiz  
Nascentes Coelho.

VITÓRIA  
2013

PATRÍCIA RAMALDES MENDONÇA

**CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA MARIA DO RIO DOCE E SANTA  
JOANA/ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho.  
Universidade Federal do Espírito Santo.  
Orientador

---

Prof. Dr. Eberval Marchioro.  
Universidade Federal do Espírito Santo.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Almeida Cavalcante  
Universidade Estadual do Ceará

## RESUMO

Sedimentos gerados por erosão em bacias hidrográficas muitas vezes são carregados pelas chuvas para corpos hídricos comprometendo a qualidade da água. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma avaliação comparativa das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana quanto aos potenciais de geração de sedimentos, a partir de análises hidrogeomorfológicas, hidrosedimentológicas e mapeamento de fragilidade à erosão. A caracterização das bacias hidrográficas identificou os cenários ambientais existentes nas bacias hidrográficas, enfatizando os principais aspectos que interferem nos processos erosivos, como a declividade do terreno, o tipo de solo, o uso e cobertura da terra, entre outros. A análise hidrogeomorfológica foi realizada a partir da geração de dados morfométricos linear, areal e hipsográfico, buscando-se relacionar os resultados hidrosedimentológicos com os hidrogeomorfológicos. O mapeamento de fragilidade à erosão contribuiu para entender espacialmente os principais focos de erosão nas bacias hidrográficas. Com isso, foram sugeridas sub-bacias para intervenções de controle de erosão e monitoramento hidrosedimentológico. A média ponderada das classes de fragilidade à erosão permitiu uma comparação mais direta com os valores obtidos para outros parâmetros. Os resultados relativos aos parâmetros morfométricos e a média ponderada da fragilidade à erosão das bacias hidrográficas sugerem que a tendência à produção de sedimentos por unidade de área da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce é ligeiramente superior à correspondente à bacia do Santa Joana. Os dados hidrosedimentológicos, apesar de limitados a alguns eventos de chuva, permitiram uma noção do transporte sólido nas calhas principais das duas bacias. Os métodos de análise utilizados na pesquisa demonstraram ser ferramentas importantes para o entendimento das dinâmicas erosivas nas bacias hidrográficas e, com isso, importantes instrumentos para futuros projetos de melhoria da qualidade da água dos cursos d'água das bacias estudadas.

Palavras-Chave: Hidrogeomorfologia, bacias hidrográficas, erosão.



## **ABSTRACT**

Sediment generated by erosion in watersheds often are carried by rain to water bodies compromising water quality. The objective of this study was to perform a comparative assessment of the watersheds Santa Maria do Rio Doce and Santa Joana about the potential generation of sediment from hydrogeomorphology analysis, hydrosedimentology analysis and mapping of erosion fragility on the watersheds. Characterization of watersheds identified existing environmental scenarios, emphasizing the main aspects that affect erosion processes, such as terrain slope, soil type, use and land cover, among others. Hydrogeomorphology analysis was performed from the morphometric drainage basin data of linear, areal and hypsographic parameters. It was also attempted to relate the results of hydrosedimentology with hydrogeomorphology analysis. The mapping of erosion fragility contributed to the spatial understanding of the main focus of erosion in river basins. Thus, sub-basins were suggested interventions for erosion control and hydrosedimentological monitoring. The weighted average of erosion fragility classes allowed a more direct comparison with the values obtained for other parameters analysed. Results related with morphometric parameters and weighted average of erosion fragility classes suggest that the tendency of sediment yield per unit area of Santa Maria do Rio Doce river basin is slightly higher than the corresponding to the Santa Joana basin. Hydrosedimentological data, although limited to a few rain events, allowed a sense of solid transport in the river of the two main basins. Analysis methods used in the study proved to be important tools for understanding the erosive dynamics on watersheds and, therefore, important tools for future projects to improve the water quality of the studied watercourses.

Keywords: hydrogeomorphology, watersheds, erosion.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. André Luiz Nascentes Coelho, pela orientação, compreensão e amizade no decorrer dessa pesquisa.

Aos meus familiares, principalmente aos meus pais, pelo incentivo e apoio para a realização dessa pesquisa.

Aos colegas, secretaria e professores do PPGG-UFES, pela amizade, atenção e ensinamentos.

Ao GEARH/LABHIDRO, LCGGEO, órgãos públicos e instituições por disponibilizar as informações para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao professor Dr. Eberval Marchioro e a professora Dr.<sup>a</sup> Andréa Almeida Cavalcante pelas contribuições na qualificação e participação na banca.

A todos, que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização dessa pesquisa.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.2-1:	Mapa de localização da área de estudo. ....	06
Figura 2.2-1:	Modelos conceituais de três interações entre a Geomorfologia, Hidrologia e Hidrogeomorfologia: a) sobreposição, b) intersecção e c) nova ciência . ....	10
Figura 2.3-1:	Fluxograma do processo de transporte de sedimento em cursos d'água .....	13
Figura 2.4.1-1:	Bacia Hidrográfica como unidade de análise .....	19
Figura 2.5.1-1:	Esquema de ordem de rede de drenagem proposto por Strahler .....	24
Figura 2.5.5-1:	Esquema demonstrando o cálculo de RDE .....	34
Figura 2.5.6-1:	Curva hipsométrica/hipsográfica, adaptado de Strahler .....	37
Figura 3.1-1:	Articulação das ortofotos do IEMA.....	40
Figura 3.1-2:	Mapa dos pontos de monitoramento hidrosedimentológico e estações pluviométricas.....	42
Figura 3.2-1:	Fluxograma das etapas do trabalho.....	43
Figura 3.2-2:	Articulação das cartas topográficas SE-24-Y-C-VI (A) e SF-24- Y-C-VI-3 (B). ....	45
Figura 3.2-3:	Mapa de pontos visitados na segunda campanha de campo do trabalho.....	53
Figura 4-1:	Mapa hipsométrico da área de estudo .....	57
Figura 4-2:	Mapa de declividade da área de estudo .....	61
Figura 4-3:	Mapa de índice de dissecação do relevo da área de estudo ....	63
Figura 4-4:	Mapa de pluviosidade da área de estudo. ....	66
Figura 4-5:	Distribuição de chuva no estado do Espírito Santo.....	68
Figura 4-6:	Mapa de solos da área de estudo.....	71
Figura 4-7:	Mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo .....	74
Figura 4-8:	Vista de áreas de mata na bacia Santa Maria do rio Doce próximo à localidade de Santa Júlia .....	75
Figura 4-9:	Vista de áreas de mata na bacia Santa Joana próximo à localidade de Itaimbé. ....	75

Figura 4-10:	Vista de áreas de pastagem em área de encosta, na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce, próximo à localidade de Boapaba .....	76
Figura 4-11:	Vista de áreas de pastagem em planície, na bacia do rio Santa Joana, próximo à localidade de Palmeira .....	76
Figura 4-12:	Vista de plantação de café em encosta íngreme na bacia Santa Maria do rio Doce, próximo à localidade de São Jacinto	78
Figura 4-13:	Vista de cultivo de hortaliça na bacia Santa Joana, próximo à localidade de Itaçu .....	78
Figura 5-1:	Mapa da rede de drenagem segundo hierarquia fluvial de Strahler (1952) .....	80
Figura 5-2:	Distribuição dos valores de ao longo dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana RDEs.....	85
Figura 5-3:	Perfil longitudinal do rio Santa Maria do Rio Doce e RDEs dos segmentos analisados .....	86
Figura 5-4:	Imagem de satélite de trecho no terceiro quilômetro do rio Santa Maria do Rio Doce com queda d'água e áreas de substrato rochoso. ....	87
Figura 5-5:	Vista do rio Santa Maria do Rio Doce. Observa-se solo exposto próximo a margem esquerda do rio, fonte potencial de sedimento pro curso d'água.....	88
Figura 5-6:	Imagem de satélite do trecho próximo à afluição do rio Santa Maria do Rio Doce (em azul) ao rio Doce .....	88
Figura 5-7:	Perfil longitudinal do rio Santa Joana e RDE dos trechos analisados.....	89
Figura 5-8:	Imagem de satélite de corredeira d'água no rio Santa Joana no quilômetro 13 a 944 metros de altitude.....	90
Figura 5-9:	Vista do rio Santa Joana na cidade de Itaguaçu.....	91
Figura 5-10:	Corredeira no rio Santa Joana no trecho 8 .....	91
Figura 5-11:	Perfis longitudinais dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana e suas respectivas curvas de tendência exponencial ....	92
Figura 5-12:	Curvas da Integral hipsométrica e de volume .....	94

Figura 6-1:	Mapa dos pontos de monitoramento hidrosedimentológico e estações pluviométricas.....	96
Figura 6-2:	Resultados dos parâmetros hidrosedimentológico.....	97
Figura 6-3:	Resultados dos parâmetros hidrosedimentológico.....	98
Figura 6-4:	Média dos totais de chuvas precipitadas em 3 dias até as datas das campanhas. ....	99
Figura 7-1:	Mapa das variáveis da fragilidade à erosão conforme classes das bacias. ....	103
Figura 7-2:	Equação de fragilidade à erosão da BHSM usando o <i>Raster Calculator</i> .....	104
Figura 7-3:	Figura 7-3: Equação de fragilidade à erosão da BHSJ usando o <i>Raster Calculator</i> .....	105
Figura 7-4:	Mapa de fragilidade à erosão.....	106
Figura 7-5:	Área de baixa fragilidade a erosão na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce, próximo à localidade de Santa Júlia. ....	107
Figura 7-6:	Área de baixa fragilidade a erosão (indicada pela seta) na Bacia do rio Santa Joana próximo à localidade de Itaçu .....	108
Figura 7-7:	Área de moderada fragilidade a erosão na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce .....	109
Figura 7-8:	Área de moderada fragilidade a erosão na bacia do rio Santa Joana .....	110
Figura 7-9:	Área de forte fragilidade a erosão na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce .....	111
Figura 7-10:	Área de forte fragilidade a erosão na bacia do rio Santa Joana .....	111
Figura 7.1-1:	Mapa de sugestão de pontos de monitoramento hidrosedimentológico .....	113

## LISTA DE TABELA

Tabela 2.5.2-1:	Índices de sinuosidade divididos por classes. ....	27
Tabela 3.1-1:	Base de dados utilizados no trabalho. ....	41
Tabela 3.2-1:	Variáveis da análise hidrogeomorfológica ....	46
Tabela 3.2-2:	Variáveis da análise hidrogeomorfológica (continuação). ....	47
Tabela 3.2-3:	Variáveis da análise hidrosedimentológica. ....	47
Tabela 3.2-4:	Classes de declividade e tipo de relevo. ....	48
Tabela 3.2-5:	Categorias hierárquicas de declividade do relevo ....	49
Tabela 3.2-6:	Matriz dos índices de dissecação do relevo ....	50
Tabela 3.2-7:	Categorias hierárquicas da matriz de dissecação do relevo. ....	50
Tabela 3.2-8:	Categorias de fragilidade de acordo com tipo de solo ....	51
Tabela 3.2-9:	Categorias de fragilidade de acordo com tipo uso e cobertura da terra. ....	51
Tabela 3.2-10:	Categorias hierárquicas de pluviosidade. ....	52
Tabela 4-1:	Porcentual das classes hipsométricas por bacia Hidrográfica ....	58
Tabela 4-2:	Classificação da declividade do relevo. ....	60
Tabela 4-3:	Classificação de índice de dissecação do relevo. ....	64
Tabela 4-4:	Classificação pedológica. ....	69
Tabela 4-5:	Percentuais do uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas. ....	72
Tabela 5-1:	Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos lineares. ....	81
Tabela 5-2:	Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos areal. ....	82
Tabela 5-3:	Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos hipsográficos ....	84
Tabela 5-4:	Valores hipsométricos da BH SM ....	93
Tabela 5-3:	Valores hipsométricos da BH SJ ....	93
Tabela 6-1:	Resultados dos parâmetros hidrosedimentológicos ....	97
Tabela 7-1:	Classificação de fragilidade a erosão. ....	105

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\Delta H$	- amplitude topográfica da bacia
$\Delta L$	- projeção horizontal da extensão do referido segmento
A	- área de drenagem da bacia
ANA	- Agência Nacional das Águas
BH	- bacia hidrográfica
CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Cm	- coeficiente de manutenção
Css	- concentração de sedimentos em suspensão
Dd	- densidade de drenagem
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Eps	- extensão média do escoamento superficial
FAPES	- Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo
Gcp	- gradiente do canal principal
GEARH	- Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos
GEOBASES	- Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo
Hmin	- altitude mínima da bacia
Hmax	- altitude máxima da bacia
Ic	- Índice de circularidade
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	- Instituto Estadual de Meio Ambiente
IH	- integral hipsométrica
IJSN	- Instituto Jones dos Santos Neves
Ir	- índice de rugosidade
Is	- índice de sinuosidade do canal principal
IV	- integral volumétrica
Kf	- fator de forma
Ls	- distância entre o segmento e a nascente
LABHIDRO	- Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão
Lu	- comprimento médio dos canais
Lb	- comprimento da bacia
Lt	- comprimento total dos canais
L	- comprimento do rio principal

LCGGEO	- Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologia
MNT	- modelo numérico de terreno
P	- perímetro da bacia
Pss	- produção específica de sedimentos em suspensão
Q	- descarga líquida
Qss	- descarga sólida de sedimentos em suspensão
RDEs	- Relação declividade e extensão do segmento
Rr	- relação de relevo
SRTM	- Missão Topográfica Radar Shuttle
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
TIN	- Triangular Irregular Network
u	- Hierarquia (Strahler)



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	04
1.1.1	Objetivos Específicos.....	04
1.2	OBJETO DE ESTUDO .....	04
<b>2</b>	<b>BASES CONCEITUAIS E TEÓRICAS .....</b>	<b>07</b>
2.1	ESTUDO DA DINÂMICA FLUVIAL.....	07
2.2	HIDROGEOMORFOLOGIA.....	09
2.3	HIDROSEDIMENTOLOGIA.....	11
2.4	BACIA HIDROGRÁFICA .....	15
2.1.1	Processos erosivos em bacias hidrográficas .....	17
2.2	ANÁLISES MORFOMÉTRICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	22
2.5.1	Hierarquia de drenagem .....	24
2.5.2	Parâmetros lineares.....	25
2.5.3	Parâmetros areais.....	27
2.5.4	Parâmetros hipsométricos .....	31
2.5.5	Perfil longitudinal.....	33
2.5.6	Curva hipsométrica/hipsográfica e de volume .....	36
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1	LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS .....	41
3.2	ROTEIRO METODOLÓGICO .....	43
<b>4</b>	<b>CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS ENTRE AS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

<b>5</b>	<b>HIDROGEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>79</b>
<b>6</b>	<b>HIDROSEDIMENTOLOGIA.....</b>	<b>96</b>
<b>7</b>	<b>FRAGILIDADE À EROSÃO.....</b>	<b>101</b>
	7.1 DESTAQUE DE SUB-BACIAS PARA INTERVENÇÕES DE CONTROLE DE EROSÃO E MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO.....	112
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>114</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO .....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos principais agentes estruturais do relevo por meio da erosão do solo, intemperismo e transporte de sedimentos (CASSOL, 2002). Segundo Casseti (1991), o relevo influencia na dinâmica das águas e no sistema de drenagem. Por isso, o estudo hidrológico associado às características físicas de uma bacia hidrográfica é importante para o entendimento da formação do relevo e sua dinâmica.

Os processos erosivos estão associados ao desgaste do solo e das rochas, além do transporte do material gerado, normalmente através das águas pluviais e fluviais, pelo vento ou geleiras (GUERRA, 2007). Os processos de erosão hídrica desagregam e transportam o material erodido, sendo que a erosão pluvial pode gerar ravina, voçoroca e enxurrada, enquanto a erosão fluvial desbarranca margens e escava leitos.

A produção, transporte e deposição de sedimentos representam um dos fatos notáveis da natureza, resultado da ação contínua de forças endógenas e exógenas no processo de modelagem e esculturação da superfície terrestre (OLIVEIRA, 2005). A erosão é o processo inicial da sedimentação e é mais intensa quanto menor for a proteção do solo.

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento dos cursos e dos espelhos d'água (BERTONI, 1990).

As previsões de escassez de água para uso humano e o declínio das espécies aquáticas têm chamado a atenção de pesquisadores, gerenciadores e sociedade civil para a conservação das águas continentais. À medida que a economia e a sociedade exigem mais água em suas atividades, cresce a responsabilidade dos gerenciadores ambientais sobre a sustentabilidade do recurso (MOULTON, 2006).

A interferência do homem na natureza necessita de estudos que levem ao diagnóstico, ou seja, a um conhecimento do quadro ambiental onde se vai atuar (ROSS, 2005), pois, qualquer alteração no relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos acarretam o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico (SPORL, 2004).

O planejamento, a partir de um diagnóstico, é de extrema importância para que se encontrem formas de desenvolvimento menos impactantes e agressivas ao ambiente. Ross (1996) afirma que o conhecimento das potencialidades e das fragilidades dos recursos naturais é de suma importância para o planejamento das atividades humanas sobre o espaço geográfico.

No Estado de Espírito Santo, o rio Doce representa o maior manancial de água doce. Suas águas são aproveitadas para o abastecimento público e industrial. Entretanto, os sólidos suspensos e o lixo em suas águas têm causado sérios danos ambientais (PIRH, 2010).

Um dos principais problemas da qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Doce está relacionado com a alta produção de sedimentos em suas sub-bacias. Esse aumento causa a elevação de índices de turbidez e de sólidos suspensos na água.

O transporte desses sedimentos em córregos e rios é acompanhado pelo aumento de concentrações de nutrientes, agrotóxicos e metais pesados a eles associados, causando danos à biota aquática (SAMPAIO, 2003). Outra consequência do aumento da produção de sedimento é o assoreamento dos rios, que contribui para gerar inundações.

A alta capacidade de produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Doce é devida à localização e fisiografia da bacia, com grande declividade nos seus trechos alto e médio. O material de origem, a elevada pluviosidade e o alto índice de desmatamento das matas ciliares e demais coberturas vegetais contribuem para a erosão do solo e a consequente produção de sedimentos carregados para os corpos hídricos da bacia (COELHO, 2007).

O relatório do Plano de Ação de Recursos Hídricos para a unidade de análise denominada Santa Maria do Doce, que engloba as bacias do Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana, considera que o mapeamento de áreas produtoras de sedimentos é uma ação considerada importante, pois ambas as bacias estão bastante antropizadas (PARH-SANTA MARIA, 2010).

Segundo o PARH (2010).

Na UA Santa Maria do Doce, nas áreas onde o relevo mostra-se com encostas íngremes e clima úmido, são comuns os problemas de instabilização de encostas, com a ocorrência de deslizamentos de terra, desabamentos e corridas de lama mobilizando blocos fraturados. Observa-se ainda a existência de sulcos e voçorocas onde dominam as colinas convexas com declives mais acentuados. Estes processos contribuem para a produção de sedimentos na UA, uma vez que mais de 85% da UA apresentam forte a média suscetibilidade à erosão. (PARH, 2010, p.21)

Por estes motivos, o entendimento do potencial de produção de sedimento nestas bacias hidrográficas é de extrema importância para planejamento ambiental, sendo de grande auxílio na definição de diretrizes e ações a serem implementadas para uma gestão territorial adequada.

As bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana foram escolhidas para o estudo por serem sub-bacias do rio Doce situadas de forma contígua, com características pedológica, geomorfológica e de uso e cobertura da terra semelhantes, e com áreas totais de drenagem similares (935 km<sup>2</sup> e 891 km<sup>2</sup>, respectivamente).

Além disso, ambas as bacias hidrográficas pertencem à mesma Unidade de Análise do Plano Integrado de Recursos Hídricos do Rio Doce (PIRH) e fazem parte de pesquisa hidrosedimentológica realizada pelo Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos/Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão da UFES (GEARH/LABHIDRO/UFES), com o apoio da FAPES e do CNPq, o que facilitou a aquisição de dados hidrosedimentológicos para o presente trabalho.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma avaliação comparativa das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana quanto aos potenciais de geração de sedimentos, a partir de dados hidrogeomorfológicos.

### 1.1.1 Objetivos Específicos:

- Caracterizar as bacias hidrográficas a partir da geração e análise de mapas geomorfológico, pedológico, hipsométrico, de declividade, pluviométrico e de uso e cobertura da terra;
- Analisar variáveis morfométricas lineares, areais e hipsográficas das bacias com emprego de geotecnologias.
- Analisar dados hidrosedimentológicos dos rios Santa Maria e Santa Joana
- Verificar a fragilidade à erosão das bacias hidrográficas Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana.
- Contribuir para o desenvolvimento de pesquisas futuras sobre geração de sedimentos em cursos d'água por erosão em bacias hidrográficas.

## 1.2 OBJETO DE ESTUDO

As bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Doce. Localizam-se na região noroeste do Estado do Espírito Santo entre as latitudes 19°32'2" e 20°5'12" sul e as longitudes 40°49'40" e 40°34'32" oeste (figura 1.3-1).

Os municípios com territórios inclusos nas bacias hidrográficas estudadas são: Itaguaçu, Itarana, São Roque do Canaã, Colatina, Santa Teresa e Afonso Cláudio.

Os principais acessos rodoviários ao norte das bacias hidrográficas são as rodovias BR- 259, ES-164 e ES-080, e ao sul são as rodovias ES-463, ES-261 e ES-355.

O rio Santa Maria do Rio Doce desenvolve-se por 93 km, desde suas nascentes na Serra do Gelo, no município de Santa Teresa, atravessa o município de São Roque do Canaã e segue até o rio Doce, no interior da sede municipal de Colatina (PARH, 2010).

Em entrevista com o presidente do CBH do Rio Santa Maria do Rio Doce em abril de 2011 (APUD, FERREIRA, 2011), é mencionado que no processo histórico de ocupação da área da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria do Rio Doce destaca-se a ocupação com a chegada de imigrantes italianos e alemães no final da década do século XIX, causando a fragmentação da região em pequenas propriedades familiares à base, principalmente, da cafeicultura extensiva.

Os modelos de desenvolvimento da época baseados no extrativismo condicionaram uma generalizada degradação dos recursos naturais (florísticos, faunísticos, edáficos e hídricos) em todas as regiões da bacia, gerando impacto econômico, social e ambiental.

Ferreira (2011) destaca que na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce observa-se assoreamento causado pela perda do solo oriunda das atividades agropecuárias pouco sustentáveis. Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica são ilegalmente exploradas, seja pela atividade industrial da extração de argila destinada a indústrias cerâmicas, seja pela ocupação urbana ou pela atividade agropecuária.

Segundo o PARH (2010), essa realidade de degradação antrópica também ocorre na bacia hidrográfica do rio Santa Joana. O rio estende-se por 100 km desde suas nascentes, no município de Afonso Cláudio, até desembocar no rio Doce. No seu trajeto, atravessa as sedes municipais de Itarana e Itaguaçu (PARH, 2010).







## **2 BASES CONCEITUAIS E TEÓRICAS**

### **2.1 ESTUDO DA DINÂMICA FLUVIAL**

O escoamento nos canais fluviais apresenta diversas características dinâmicas, que se tornam responsáveis pelas qualidades atribuídas aos processos fluviais. A dinâmica do escoamento, no que se refere à perspectiva geomorfológica, ganha significância na atuação exercida pela água sobre os sedimentos do leito fluvial, no transporte dos sedimentos, nos mecanismos deposicionais e na esculturação da topografia do leito (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Geomorfologia “é uma ciência que tem por objetivo analisar as formas de relevo, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais” (CASSETI, 2005). O objeto de estudo é a superfície da crosta terrestre. A análise geomorfológica de uma área determinada implica no conhecimento da evolução que o relevo apresenta.

A geomorfologia preocupa-se com o aspecto genético das formas do relevo terrestre. Segundo Jatobá e Lins (2003), o relevo terrestre corresponde ao conjunto de reentrâncias e saliências observadas na superfície do planeta, formado por inúmeros processos. Esses processos podem ser provenientes de ações endógenas (vulcanismo, tectonismo) e exógenas (água, temperatura, chuva, vento, geleiras, seres vivos).

Segundo Ross (1990), para entender a dinâmica e a gênese das formas do relevo, é necessário conhecer os fatores bioclimáticos, pedológicos, geológicos e mesmo antrópicos que interferem em sua evolução.

O estudo ambiental conduz ao conhecimento do meio físico. Segundo Ross (2000), a geomorfologia estuda as formas de relevo e os processos associados à sua evolução e vai conduzir a elaboração de metodologias específicas para análises ambientais.

Segundo Florenzano (2008) e Cunha (1995), geomorfologia fluvial é o campo da geomorfologia que se dedica a estabelecer relações entre os processos de erosão e deposição resultantes do escoamento da água em canais fluviais e as formas de relevo dele derivadas. Trata da evolução da bacia hidrográfica e seus processos fluviais correlatos (GOERL et al., 2012).

A geomorfologia fluvial engloba o estudo dos cursos de água e o das bacias hidrográficas e focaliza suas questões nos processos que dão origem às formas relacionadas ao escoamento dos rios, os quais são responsáveis pelo transporte de energia e matéria (AGUIAR, 2009), e nas principais características da bacia hidrográfica que condicionam o regime hidrológico.

Segundo Christofolletti (1980), a geomorfologia fluvial se interessa pelo estudo dos processos e das formas relacionadas ao escoamento dos rios. Para ele, os estudos relacionados com as drenagens fluviais possuem função relevante na geomorfologia, e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na escultura da paisagem terrestre.

De acordo com Cunha (1994), a partir da década de 1970 os estudos de geomorfologia fluvial foram se intensificando, com ênfase nos processos e mecanismos observados no canal fluvial. Passou a adotar uma perspectiva temporal para as mudanças fluviais e se preocupar com as modificações decorrentes da maior atuação do homem sobre o ambiente fluvial.

Cunha (op. cit) considera que nos últimos tempos as atividades humanas têm aumentado sua influência sobre a geomorfologia fluvial, induzindo ou modificando diretamente os canais fluviais como, por exemplo, obras de engenharia, extração de minérios, controle de vazão e remoção de vegetação. Esses tipos de mudanças fluviais acarretam transformações em todos os componentes da paisagem e, por vezes, acabam prejudicando o próprio homem.

Devido à necessidade crescente da utilização e da preservação da bacia hidrográfica, Tucci (1993) observa que os estudos sobre recursos hídricos se

expandiram, surgindo subáreas especializadas, como a geomorfologia fluvial, que, segundo o autor, trata da análise quantitativa das características do relevo de bacias hidrográficas e sua associação com o escoamento.

Em pesquisa sobre a produção científica brasileira relacionada com geomorfologia, Salgado (2008) constatou que a geomorfologia fluvial era a especialidade da geomorfologia sobre a qual se tem mais publicado no Brasil nos últimos anos, tanto em termos de produção de artigos nacionais como internacionais. Goerl et al. (2012) observam que o estudo da geomorfologia fluvial é praticamente impossível sem o auxílio ou complemento de outras ciências como a hidrologia, climatologia ou meteorologia.

## 2.2 HIDROGEOMORFOLOGIA

O termo Hidrogeomorfologia foi introduzido por Scheidegger em 1973 como junção das palavras geomorfologia e hidrologia. Foi o primeiro a definir Hidrogeomorfologia como sendo o estudo das formas causadas pela ação das águas em um artigo científico, publicado no Journal of Hydrology (GOERL et al., 2012).

Segundo Goerl op. cit., a partir da década de 90 a Hidrogeomorfologia recebeu maior notoriedade e, a partir do ano 2000, tornou-se um tema recorrente e de maior evidência nos periódicos.

Para Sidle e Onda (2004) apud Goerl et al. (2012), a Hidrogeomorfologia inclui as inter-relações entre diversos processos hidrológicos e geomorfológicos, uma ciência interdisciplinar que se concentra na ligação e interação de processos hidrológicos com as formas da paisagem ou materiais terrestres e a interação de processos geomorfológicos com as águas superficiais ou subsuperficiais em diferentes escalas espaciais e temporais.

A Hidrogeomorfologia trata dos aspectos da água, rochas e feições morfológicas da superfície. Segundo Babar (2005), pesquisas na área da Hidrogeomorfologia tratam

da explicação da paisagem, suas formas e evolução: quais são as formas, qual sua função e como têm se desenvolvido em relação às condições hidrológicas.

Segundo Goerl et al. (2012), não existe uma definição específica para o conceito de Hidrogeomorfologia, entretanto, o autor afirma que é consenso que a Hidrogeomorfologia é a união da geomorfologia e hidrologia, embora o entendimento dessa união não esteja ainda de forma clara.

Diante das diversas conceituações para o termo Hidrogeomorfologia, Goerl et al. (2012) propuseram três modelos da relação entre a Hidrologia e Geomorfologia representados na figura 2.2-1.

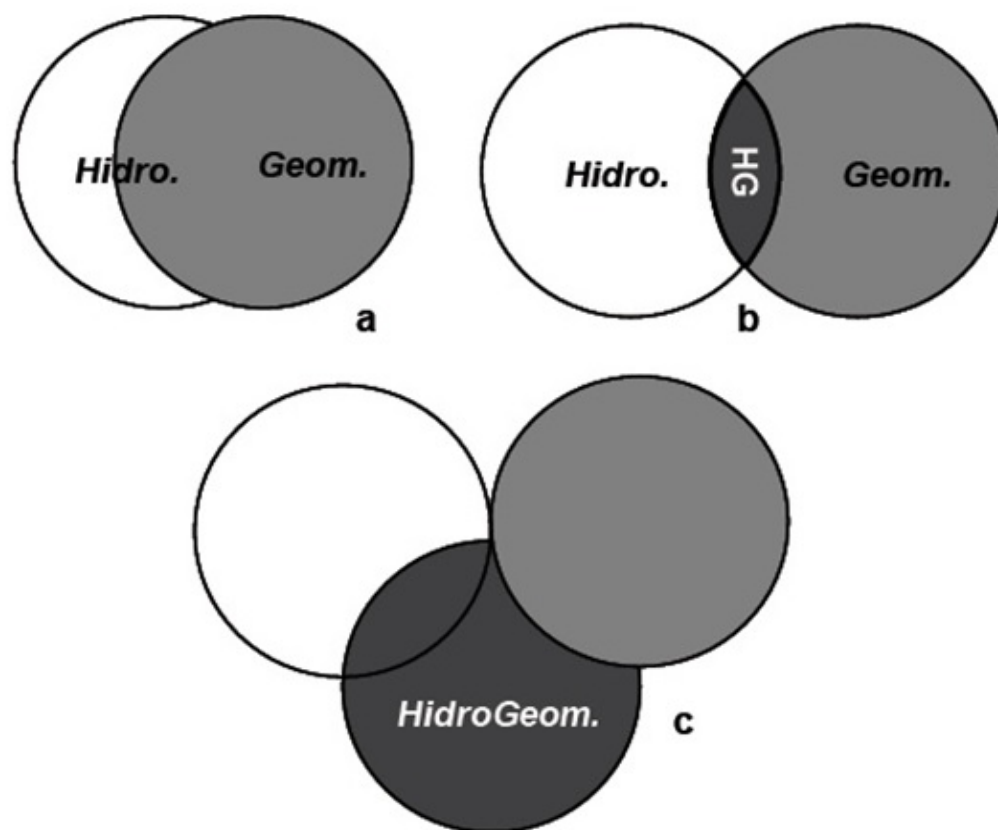


Figura 2.2-1: Modelos conceituais de três interações entre a Geomorfologia, Hidrologia e Hidrogeomorfologia: a) sobreposição, b) intersecção e c) nova ciência. (fonte: Goerl et al., 2012).

Segundo o autor, a figura a sugere superposição das ciências hidrologia e geomorfologia, que aplicam métodos semelhantes, mas sem necessariamente haver

interface entre elas. O modelo *b* trata da intersecção dessas ciências, do que se torna objeto comum entre as duas. O modelo *c* trata a Hidrogeomorfologia como ciência própria, que incorpora elementos da geomorfologia, da hidrologia e possui atributos próprios (GOERL et al., 2012).

Goerl op. cit. considera que “os modelos *a* e *b* são os mais praticados na atualidade, incorporando a água (processo hidrológico) como agente modelador da paisagem ou incorporando as formas da paisagem (geomorfologia) nos estudos dos processos hidrológicos”.

O modelo conceitual *b*, dependendo do foco e escopo da pesquisa, será mais hidrológico ou mais geomorfológico, contudo, incorpora as duas ciências. Entretanto, Goerl et al. (2012) ressaltam que a hidrogeomorfologia dá ênfase nos processos hidrológicos que modificam e permitem a evolução da paisagem (geomorfologia) pela ação da água, não favorecendo esta ou aquela ciência.

Goerl et al. (2012) consideram ainda que a hidrogeomorfologia pode ser tratada como uma nova ciência (modelo *c*), a qual tem como definição:

Hidrogeomorfologia é uma ciência que busca compreender como os processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem e ainda como as formas de relevo condicionam ou controlam os processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais. (Goerl et al., 2012, p.5)

Cabe ressaltar que o presente trabalho emprega o conceito de hidrogeomorfologia de acordo com o modelo conceitual *b*, definido como a intersecção da ciência hidrológica e geomorfológica.

## 2.3 HIDROSEDIMENTOLOGIA

Hidrosedimentologia é o estudo dos processos relacionados à dinâmica da água e dos sedimentos associados a ela na fase terrestre do ciclo hidrológico. Segundo Carvalho (1994), sedimento é a partícula derivada da fragmentação da rocha, por

processos físicos ou químicos que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição.

Os processos responsáveis pela sedimentação são muito complexos, abrangendo erosão, deslocamento até os rios, transporte dos sedimentos nos cursos d'água, deposição do sedimento e sua compactação. Todos esses fenômenos que envolvem os sedimentos são processos naturais que sempre ocorreram através dos tempos geológicos, sendo responsáveis pela forma atual da superfície da terra (CARVALHO, op cit.).

Segundo Vilela e Matos (1975), a ação erosiva da chuva leva anualmente milhões de toneladas de solo para os rios brasileiros. As correntes também promovem erosão nos canais. Esses sedimentos são depositados no fundo dos rios pela ação da gravidade ou são transportados em suspensão na corrente.

O transporte de sedimentos e materiais solúveis, que corresponde ao transporte fluvial de massa da bacia de hidrográfica, geralmente é o fator dominante no balanço de massa de uma bacia hidrográfica, onde a maior parte será obtida por meio do intemperismo (ALLAN, 1997).

O total de materiais transportados pelo rio pode ser determinado de maneira satisfatória por meio da medição da concentração de materiais depositados no leito do canal, ou suspensos em função do fluxo turbulento da água (VILELA E MATOS, 1975).

Os sedimentos que chegam ao curso d'água têm granulometrias variadas e sofrem fenômenos de transporte variados, de acordo com as condições locais e do escoamento (SILVA et al., 2003).

Conforme Christofletti (1981), a mecânica do transporte fluvial envolve três tipos de cargas: a dissolvida, a dos sedimentos em suspensão e a do leito, que são transportados, respectivamente, em solução, suspensão e saltação. Os processos atuantes no transporte estão esquematizados na figura 2.3-1.

Observa-se que a carga total de sedimento é composta por materiais fornecidos pelos processos químicos, processos pluviais e movimento de massa no regolito

(camada de sedimentos resultantes da fragmentação de rochas subjacentes) (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A quantidade e a qualidade dos sedimentos presentes nos canais fluviais é resultado da própria dinâmica do canal, associada ao processo de uso e ocupação da área da bacia (SILVA et al., 2003).

A ideia quantitativa de trabalho das correntes fluviais está ligada às competência do rio que é a relação da seção do canal fluvial e a velocidade de fluxo, e a capacidade do rio em relação ao volume de carga transportada (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

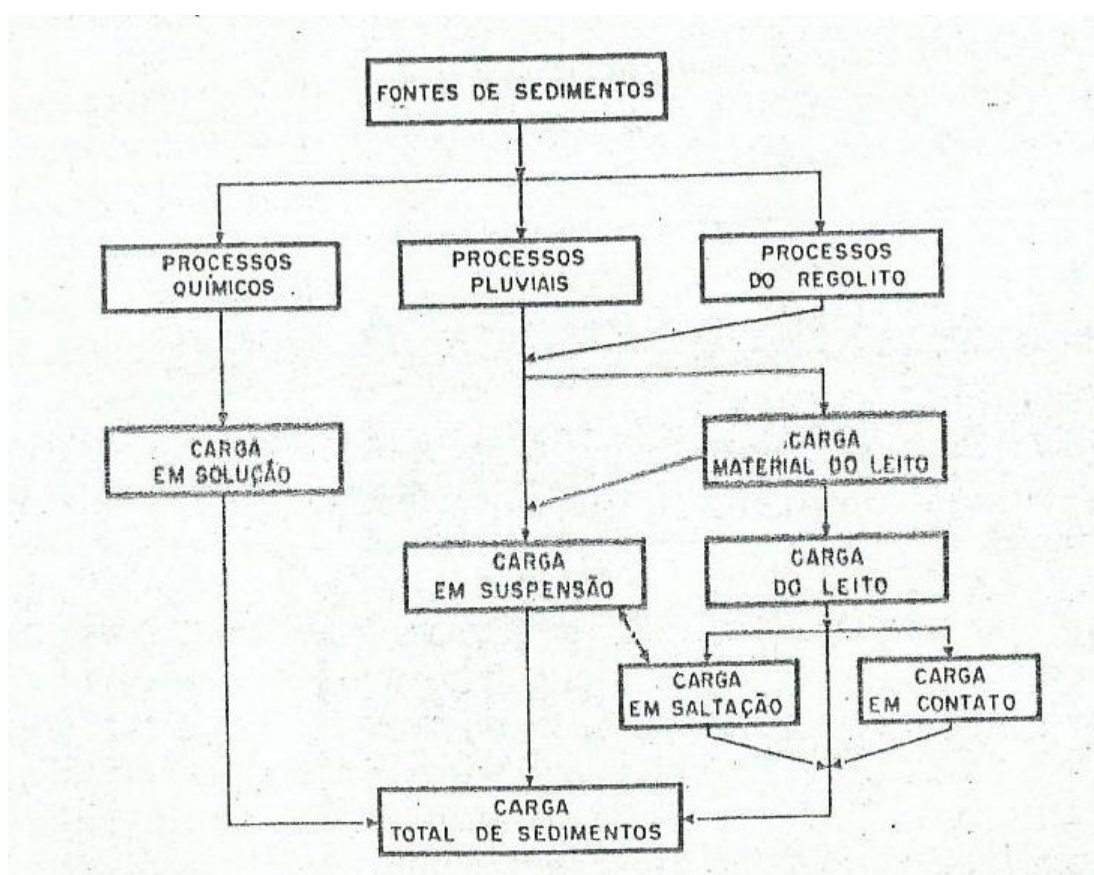


Figura 2.3-1: Fluxograma do processo de transporte de sedimento em cursos d'água (fonte: Christofolletti,1981)

Segundo Tucci (1993), o Ciclo Hidrosedimentológico envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica, sendo este intimamente ligado ao ciclo hidrológico.

A bacia hidrográfica é uma área delimitada pelo relevo na qual a água se movimenta das áreas altas para as baixas. Os canais de drenagem estão instalados nas áreas baixas e funcionam como vias de concentração e transporte dos sedimentos produzidos na área drenada pelo rio principal e seus afluentes (QUEIROZ, 2011).

Estudos hidrosedimentológicos de bacia hidrográficas compreendem a utilização de dados coletados por observação em campo e análises laboratoriais. Segundo Silva et al. (2003), estudos e pesquisas em sedimentologia são realizados com lentidão, devido ao fato de a maioria das consequências não ser imediata e porque os trabalhos são custosos do ponto de vista de mão de obra, tempo e recursos.

Valores como descarga sólida em suspensão, concentração de sedimentos em suspensão e outros parâmetros derivados dos estudos hidrosedimentológicos, como produção de sedimentos e uso do solo, gradação de leito de rios ou a degradação desses leitos são de aplicação em muitas áreas de estudo, tais como tratamento de água, fauna e flora fluvial, irrigação e diagnóstico sedimentológico de bacia (CORDEIRO, 2010).

A relação do resultado da concentração de sedimentos em suspensão e a descarga líquida de uma seção transversal de um rio em função do tempo para estimar o transporte total de sedimentos em suspensão, ou descarga sólida de sedimentos em suspensão segundo Carvalho (1994), é apresentada na seguinte equação:

$$Q_{ss}=0,08649 \times Q \times C_{ss} \quad (01)$$

Sendo:

$Q_{ss}$  = descarga sólida de sedimentos em suspensão (t/dia);

$Q$  = descarga líquida ( $m^3/s$ );

$C_{ss}$  = concentração de sedimentos em suspensão (mg/l)

A área da bacia de contribuição (A), em relação a uma estação de monitoramento, juntamente com a descarga sólida de sedimentos em suspensão ( $Q_{ss}$ ) possibilita estimar a produção específica diária de sedimentos em suspensão ( $P_{ss}$ ) por área ( $t/km^2/dia$ ). Para isto Carvalho (1994) destaca a utilização



da seguinte equação:

$$P_{ss} = \frac{Q_{ss}}{A} \quad (02)$$

Sendo:

$P_{ss}$  = produção específica da produção de sedimentos em suspensão (t/Km<sup>2</sup>/dia);

$Q_{ss}$  = descarga sólida dos sedimentos em suspensão (t/dia)

$A$  = área da bacia (Km<sup>2</sup>)

## 2.4 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica ou de drenagem pode ser considerada um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas (BARRELLA, 2001).

De acordo com Tucci (1993), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, o exultório.

Segundo Guerra (1997), bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, devendo incluir também uma noção de dinamismo, por causa de modificações que ocorrem nas linhas divisoras de água sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou diminuindo a área da bacia.

Segundo Christofletti (1970), um sistema é composto por matéria, energia e estrutura. A matéria se caracteriza pelo material que será mobilizado através do sistema, é aquilo que vai se movimentar. A energia se caracteriza pelas forças que fazem o sistema funcionar, “gerando a capacidade de realizar trabalho”. Já a estrutura é constituída pelos “elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes”

A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita nos estudos de bacias hidrográficas (BOTELHO; SILVA, 2007) no sentido que é entendida como célula básica de análise ambiental que permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem.

A Teoria de Sistemas parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico, que é frequentemente alterado pela intervenção do homem (ROSS, 1994).

Sob a perspectiva sistêmica, Christofolletti (1979) conceituou bacia hidrográfica como um sistema aberto no qual ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo. É um sistema aberto que recebe suprimento contínuo de energia através do clima reinante que, sistematicamente perde, através da água, os sedimentos.

Segundo Chorley (1962, APUD Netto, 1994, p.98), a bacia de drenagem, enquanto uma unidade hidrogeomorfológica, constitui um exemplo típico de sistema aberto na medida em que recebe impulsos energéticos das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia no seu ponto de saída.

O estado de estabilidade representa o funcionamento do sistema, no momento em que todas as variáveis estão ajustadas em função da quantidade e variabilidade de energia que lhe é fornecida. Assim, se houver alteração de energia, o sistema reagirá às modificações e se desenvolverá até alcançar novo estado de estabilidade (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A LEI Nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e prevê, no seu Artigo 1º, que a Bacia Hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A bacia hidrográfica como unidade de planejamento/gerenciamento, se constitui em um sistema natural bem delimitado geograficamente, onde os fenômenos e

interações podem ser integrados a priori pelo *input* e *output*, assim bacias hidrográficas podem ser tratadas como unidades geográficas onde os recursos naturais se integram (SANTOS, 2004). Para Marçal (2009), a bacia hidrográfica representa a totalidade que envolve uma gama enorme de parâmetros que englobam desde o meio físico e social até os relacionados à questão econômica e cultural.

Segundo Tundisi (2008), o conceito de bacia hidrográfica, como unidade de pesquisa, gerenciamento e aplicação das informações básicas, está bem estabelecido e consolidado, representando um grande processo de descentralização da gestão baseada em pesquisa e inovação aplicada a cada bacia hidrográfica.

Tucci (1993) avaliou que a ocupação da bacia pela população gera preocupações relativas ao impacto do meio sobre a população através das enchentes e ao impacto do homem sobre a bacia, em relação à preservação do meio ambiente. Por isso, o planejamento do desenvolvimento da ocupação do espaço pelo homem precisa, entre outras coisas, do entendimento sobre o comportamento dos processos naturais na bacia, para a compatibilização das necessidades com os recursos existentes.

Segundo Rodrigues e Adami (2005), grande parte dos estudos em bacias hidrográficas é realizado sob os aspectos hidrodinâmicos e morfométricos. Os primeiros têm sido desenvolvidos principalmente em função da necessidade de inventário ao potencial hidroenergético de bacias hidrográficas; os morfométricos e morfológicos revelam tendências espaciais de processos na bacia estudada.

#### 2.4.1 Processos erosivos em bacias hidrográficas

O termo erosão pode ser entendido como sendo o conjunto de agentes atuantes na crosta terrestre, capazes de promover a desagregação de partículas, proporcionando novas fisionomias ao relevo. A erosão do solo é um processo

complexo no qual vários fatores exercem influência, de forma e magnitude variável, conforme o local de ocorrência (SILVA et al., 2003).

Segundo Christofolletti (1981), a carga detrítica dos cursos de água é gerada pela ação erosiva que as águas exercem sobre as margens e fundo do leito e pela erosão das vertentes. O transporte dos sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos de água.

Os mais importantes fatores que influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento para os cursos d'água são as precipitações, a estrutura geológica, a topografia e a cobertura vegetal. Por isso, os fluxos e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuante no sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A figura 2.4.1-1, adaptada por Tundisi (2008) do livro *“Watersheds: a practical handbook for healthy water”*, representa o conceito de bacia hidrográfica com os principais componentes importantes para a pesquisa e o gerenciamento. Destaca-se o processo de erosão proveniente de diversos usos da terra e também de ações naturais, como o intemperismo de rochas, que influenciam nos aspectos físicos e na qualidade da água do seu sistema.

Quando a rocha se dissolve com a água da chuva, os nutrientes são levados até os rios e mares. Na agricultura, os fertilizantes muitas vezes são carregados junto com os sedimentos erodidos para os cursos d'água das bacias hidrográficas.

O lançamento de despejos ricos em nutrientes em um curso d'água estimula o crescimento de micro e macro-organismos fotossintetizadores, chegando até o desencadeamento de florações indesejáveis e oportunistas, que podem chegar a diminuir a biodiversidade do ambiente (eutrofização) (BAUMGARTEN et al., 1996).

Segundo Strahler (1986), as correntes fluviais causam erosão de diversas maneiras, dependendo da natureza do material erodido. Pela ação hidráulica, as correntes d'água erodem os materiais aluvionares mal consolidados nos fundos dos rios. A escavação das margens dos rios, principalmente em época de cheia, é outra forma de origem de sedimento para os cursos d'água, citada pelo autor.

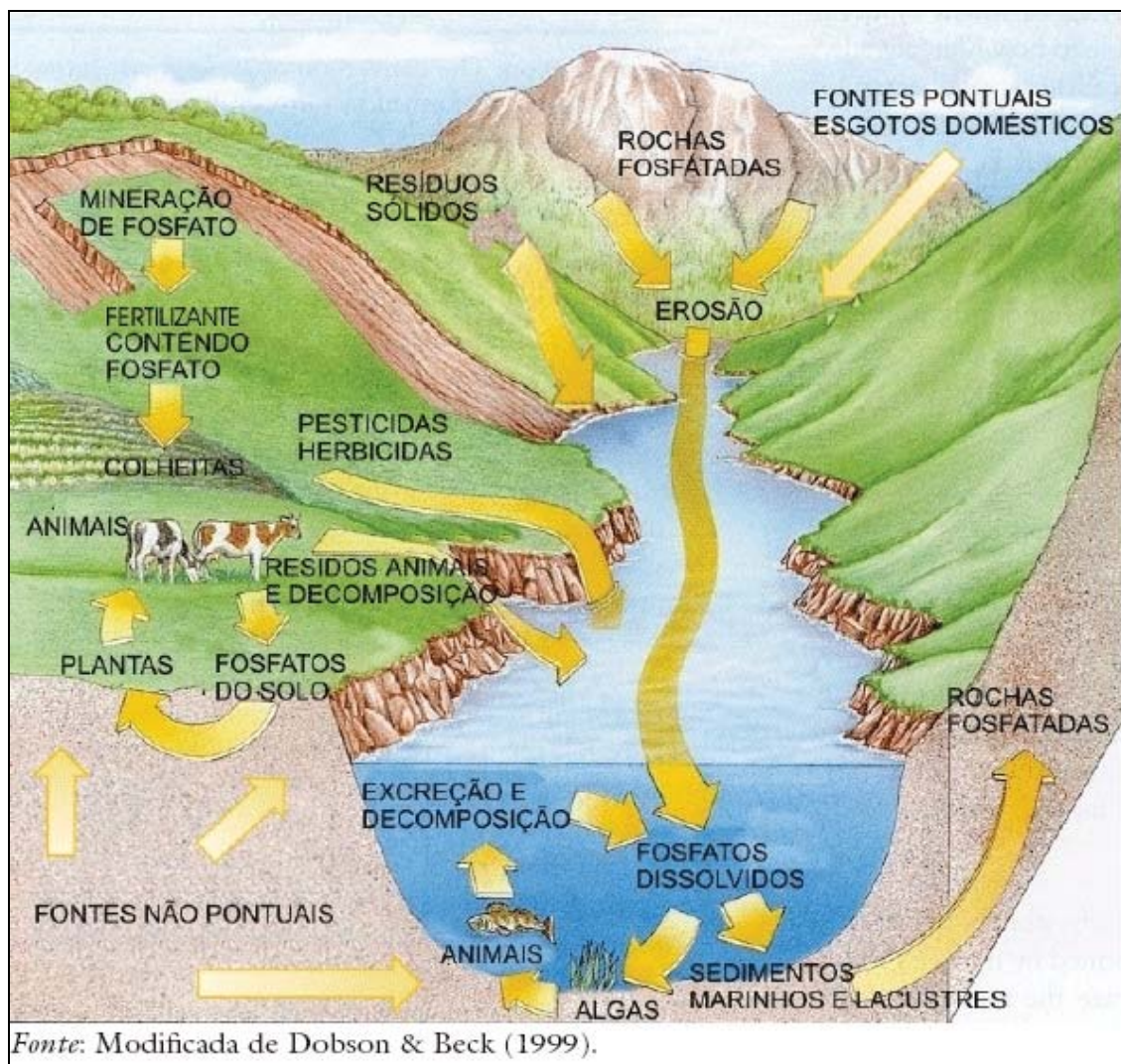


Figura 2.4.1-1: Bacia Hidrográfica como unidade de análise. (fonte: Tundisi, 2008)

A erosão por abrasão é referente à ação mecânica dos rios que correm sobre rochas fragmentando seus pedaços. A erosão por corrosão está associada a processos químicos de desagregação das rochas dos leitos dos rios (STRAHLER, 1986).

Segundo Yang (1996), os fatores que determinarão a produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica podem ser resumidos da seguinte forma:

- Quantidade e intensidade pluviométrica.
- Tipo de solo e formação geológica.
- Cobertura do solo.
- Uso do solo.

- Topografia.
- Taxa de erosão, drenagem, rede de densidade, declividade.
- Forma, tamanho e alinhamento dos canais.
- Características dos sedimentos, tais como granulometria e mineralogia, e características hidráulicas do canal.

Segundo Botelho (1999), a análise de uma bacia hidrográfica não compreende apenas os processos que ocorrem no leito dos rios, já que grande parte dos sedimentos transportados são oriundos de áreas situadas mais a montante, vindos das encostas da bacia. Assim, qualquer alteração que aconteça em uma bacia hidrográfica repercutirá em consequências diretas ou indiretas sobre os canais fluviais.

A perda de solo por erosão, que ocorre na área de uma bacia hidrográfica, está diretamente relacionada com o uso e manejo do solo, e os sedimentos originam-se de um processo erosivo que geralmente ocorre no solo por diferentes formas de ação (FIGUEIREDO, 1989). Os processos de erosão de solos e os movimentos de massa fazem com que o escoamento superficial transporte os sedimentos oriundos dessas alterações ambientais para algum rio que drena a bacia (BOTELHO, op cit.).

O estudo da conformação atual do terreno permite deduzir a tipologia e intensidade dos processos erosivos e deposicionais, a distribuição, textura e composição do solo, bem como a capacidade potencial de uso (SANTOS, 2004).

O crescimento populacional no país tem provocado o aumento de áreas agrícolas, de cidades, do uso do solo em geral, bem como do aproveitamento dos recursos hídricos. Isso tudo acarretou o aumento da erosão nas terras, do transporte sólido nos rios e depósitos dos sedimentos nos canais fluviais e reservatórios, portos fluviais e marítimos e na foz dos cursos d'água. Segundo Berrella (2001), as ações do homem têm provocado uma série de perturbações no funcionamento desses ecossistemas.

As intervenções humanas na bacia hidrográfica, tais como erosão decorrente do desmatamento, atividades agrícolas ou de mineração, assoreamento de barragens e

estuários, assoreamento nos canais de acesso e berços de atracação em portos são problemas derivados dos sedimentos.

Segundo Salomão (1999), adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo da erosão depende do entendimento correto dos processos relacionados com a dinâmica de funcionamento hídrico sobre o terreno.

A fragilidade do ambiente é analisada sob o prisma da Teoria de Sistemas, segundo a concepção de Unidades Ecodinâmicas que foi preconizada por Tricat (1977), na qual se considera que ambientes em equilíbrio dinâmico são estáveis e em desequilíbrio são instáveis. A fragilidade dos ambientes naturais deve ser avaliada quando se pretende aplicá-la ao planejamento territorial ambiental.

A fragilidade do ambiente é a sua vulnerabilidade em sofrer qualquer tipo de alteração e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, oriundos da própria dinâmica do ambiente, como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica, a exemplo do mau uso do solo (CABRAL *et al.*, 2011).

A proposta metodológica de Ross (1991) abrange levantamentos básicos de geomorfologia (declividade), solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima (índices pluviométricos). Segundo Ross (2004), esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

A partir do mapa-síntese de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, é possível visualizar as fragilidades muito baixa ou nula, baixa, média, forte e muito forte da área analisada. O mapeamento pode ser utilizado nos estudos de diagnósticos da erosão (SCHINEIDER, 2011).

As bacias hidrográficas são sistemas dinâmicos que buscam equilíbrio, por isso, a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas (ROSS, 1994). Assim, estudos integrados de uma determinada bacia hidrográfica pressupõem o entendimento da

dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem intervenção da ação humana.

## 2.5 ANÁLISES MORFOMÉTRICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Características hidrogeomórficas estão relacionadas ao padrão de drenagem e atributos morfométricos de cursos d'água e bacias hidrográficas (BABAR, 2005). A análise morfométrica apresenta-se como uma ferramenta significativa para entender as características do relevo fluvial de uma bacia hidrográfica, uma vez que procura mensurar as feições geomorfológicas da bacia.

Horton (1945) considera que para entender o desenvolvimento das formas da terra, principalmente em bacias de drenagem e rede de drenagem é necessário utilizar ferramenta quantitativa de mensuração. Muitos parâmetros morfométricos foram propostos por Horton (1945) e apresentada na literatura por Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975).

Segundo Rodrigues e Adami (2005), a análise morfométrica pode servir para interpretações hidrodinâmicas e geomorfológicas, possibilitando interpretações sobre a gênese e a dinâmica (atual) do sistema da bacia hidrográfica.

Segundo Babar:

Parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas receberam grande atenção de hidrólogos e geomorfologistas desde que bacias hidrográficas passaram a ser usadas para análise de diversos processos físicos do ecossistema, incluindo erosão do solo, deposição, escoamento, descarga de corrente, produção de sedimento, irradiação solar, evaporação, evapotranspiração, e distribuição de nutrientes (Babar, 2005, p.109, tradução nossa).

A análise morfométrica abrange um conjunto de índices morfológicos que visa à uma abordagem detalhada e quantitativa das bacias de drenagem. Esses índices são calculados com a finalidade de geração de dados geomorfológicos, os quais subsidiam na caracterização física da bacia de drenagem.



Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é um meio de analisar numericamente ou quantificar matematicamente aspectos das vias de drenagem e canais (SLIGHT, 1972 APUD BABAR, 2005). A análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial geram sua expressão e configuração espacial.

Nos Estados Unidos da América deu-se o início às primeiras pesquisas voltadas ao levantamento das propriedades morfométricas de bacias hidrográficas, além dos estudos dos processos e quantificação em geomorfologia. Segundo Babar:

A pesquisa por uma unidade areal ideal na qual a coleta, processamento, organização e interpretação do dado da geometria do relevo e origem erosiva tem sido o principal objetivo de geomorfologistas desde Fennemen (1914), Horton (1932) e Schumm (1956), Shreve (1966), Singh (1981), Sakar (1995), Schumm e Spitz (1996), Sharma e Amin (1996), Iqbaluddin *et al* (1997) e Raj *et al* (1999) (Babar, 2005, p.109-110, tradução nossa).

Segundo Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se no processo de se estabelecer a classificação hierárquica de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra, para facilitar e tornar mais objetivos os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas.

Os parâmetros sugeridos por Christofolletti (1980) para o estudo analítico da rede de drenagem da bacia hidrográfica são abordados em quatro itens: hierarquia de drenagem, análise linear, análise areal e análise hipsométrica.

Aplicação de parâmetros morfométricos tem por objetivo caracterizar os aspectos geométricos e de configuração das bacias hidrográficas e da rede de drenagem, estabelecendo indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição integrativa entre seus elementos (CHEREM, 2008).

### 2.5.1 Hierarquia de drenagem

Segundo Cunha (1995), a ordenação dos canais fluviais é o primeiro passo para a realização da análise morfométrica das bacias hidrográficas. A hierarquia fluvial proporciona base quantitativa para comparar o grau de desenvolvimento das redes de drenagem entre bacias de tamanhos parecidos (HORTON, 1945).

A proposta de ordenação dos canais de uma rede de drenagem feita por Arthur N. Strahler (1952), (figura 2.5.1-1), é resultado da adaptação da proposta de Horton (1945) sob a perspectiva topológica da rede de drenagem, referindo-se apenas às interconexões, não importando os comprimentos, formas ou orientações das ligações dos canais (TUCCI, 1993).

Além disso, a proposta de Strahler extinguiu a definição que o rio principal deva ter o mesmo número de ordem da nascente até a foz, como proposto por Horton.

O esquema de ordem de drenagem de Strahler estabelece que

os trechos de drenagem sem tributários sejam considerados como de 1ª ordem mesmo que sejam nascentes dos rios principais e afluentes. Quando dois tributários de 1ª ordem se encontram formam um segmento de 2ª ordem; quando dois canais de ordens diferentes se unem prevalece o de maior ordem e, assim, sucessivamente, um canal de ordem  $u$  é formado pela união de dois canais de ordem  $u-1$ , até a última ordem que corresponde à ordem geral da bacia (STRAHLER, 1957 APUD TUCCI, 1993, p.43).

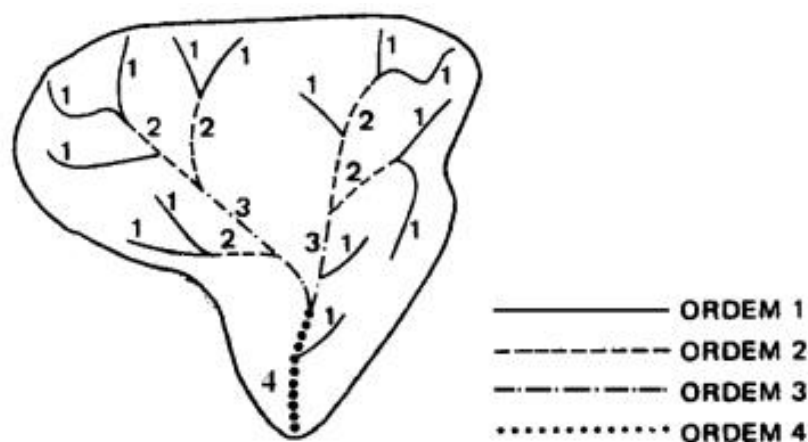


Figura 2.5.1-1: Esquema de ordem de rede de drenagem proposto por Strahler.

### 2.5.2 Parâmetros lineares

Na análise linear são englobados os índices e parâmetros a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1980).

- **Extensão do percurso superficial**

A Extensão do Percurso Superficial (Eps) é um parâmetro que representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente (HORTON, 1945), ou seja, é uma estimativa da distância do local onde houve a chuva até o ponto mais próximo no leito de um trecho de drenagem.

O resultado obtido é aplicado para caracterizar a textura topográfica da superfície da bacia hidrográfica e analisar o maior ou menor espaçamento entre os trechos de drenagem.

Seu emprego está relacionado com o potencial para geração de sedimentos em suspensão nas bacias hidrográficas, onde quanto menor o valor de Eps, maior será seu potencial, uma vez que a distância para mobilizar os materiais da superfície das vertentes será menor (AGUIAR, 2009).

A equação utilizada é dada por:

$$Eps = \frac{1}{2 * Dd} * 1000 \quad (03)$$

Sendo:

Eps = extensão média do percurso superficial (m);

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

1000 = fator de conversão.

- **Gradiente do canal principal**

O gradiente do canal principal (Gcp) é a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término e o comprimento do respectivo segmento fluvial, cuja finalidade é indicar a declividade de um canal fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O Gcp é um parâmetro importante para verificar o potencial de mobilização ou estocagem de sedimentos em suspensão em bacias hidrográficas, porque quanto maior for o gradiente do canal principal, maior será a capacidade de transporte de um rio, pois maior é a sua declividade.

A equação utilizada é dada por:

$$G_{cp} = \frac{H_{max}}{L_p} \quad (04)$$

Sendo:

Gcp = gradiente do canal principal (%);

Hmax = altitude máxima (m);

Lp = comprimento do canal principal (km).

- **Índice de sinuosidade do canal principal**

O índice de sinuosidade (Is) é a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante (equivalente vetorial), medida em linha reta (dv), e o comprimento do canal principal (L).

A equação utilizada é dada por:

$$I_s = 100 * \frac{L - dv}{L} \quad (05)$$

Sendo:

Is = índice de sinuosidade do canal principal;

L = comprimento do canal principal;

dv = distância entre os pontos extremos do canal.

Segundo Mansikkaniemi (1972) apud Christofolletti (1980), o índice de sinuosidade possui classes, divididas conforme a tabela 2.2.1.3-1.

**Tabela 2.5.2-1: Índices de sinuosidade divididos por classes.**

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Limites (%)</b>
I	Muito reto	<20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	>50

Este índice é um fator controlador da velocidade de escoamento superficial. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (LANA, 2001).

### 2.5.3 Parâmetros areais

Os parâmetros areais consideram as grandezas bidimensionais da bacia hidrográfica ou parâmetros provenientes de medições planimétricas, além de medições lineares da rede e da bacia de captação (CHRISTOFOLETTI, 1980). Referentes a este tipo de análise destacam-se os parâmetros: área da bacia, relação das áreas médias, perímetro, fator de forma, índice de circularidade, densidade de drenagem, densidade hidrográfica e coeficiente de manutenção.

- **Área da bacia**

É toda a área drenada limitada pelos divisores de água, conectando-se no ponto de captura, localizado na foz do canal principal. A relação deste parâmetro com a produção de sedimentos em suspensão é fundamental, pois quanto maior a área de uma bacia hidrográfica maior será o potencial de geração de sedimentos em suspensão.

$$A = \text{área da bacia (km}^2\text{)}. \quad (06)$$

Segundo Tucci (1993), uma vez definido o contorno de uma bacia, a sua área pode ser obtida por planimetragem direta de mapas que já incorporaram a projeção vertical. Também é possível determinar a área de uma bacia por cálculos matemáticos de mapas arquivados eletronicamente à área através de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

- **Perímetro**

É o comprimento linear do divisor topográfico, que pode ser determinado através de um curvímetro ou da utilização de software de cartografia digital.

$$P = \text{perímetro (km)} \quad (07)$$

- **Densidade de drenagem**

O parâmetro densidade de drenagem permite caracterizar quantitativamente o grau de desenvolvimento da drenagem de uma bacia hidrográfica (Horton, 1945).

Esta variável morfométrica relaciona o comprimento total dos rios com a área de uma determinada bacia hidrográfica. Tucci (1993) observou que a densidade de drenagem provê a ligação entre os atributos de forma da bacia e os processos que agem sobre o curso d'água.

A equação utilizada é dada por:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (08)$$

Sendo:

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

Lt = comprimento total dos rios (km);

A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

Segundo Cunha (2003), a densidade de drenagem é um dos parâmetros adotados para a previsão da produção de sedimento. Com efeito, a densidade de drenagem possui uma relação direta com o potencial de transferências de sedimentos, uma vez que, quanto maior a densidade de drenagem, menor a distância percorrida pela partícula deslocada por erosão do terreno na vertente até o curso d'água.

- **Coefficiente de manutenção**

O coeficiente de manutenção dos canais (C) foi proposto por Schumm (1956). Esse parâmetro corresponde à área necessária à formação de um canal com fluxo perene (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A equação utilizada é dada por:

$$Cm = \frac{1}{Dd} * 1000 \quad (09)$$

Sendo:

Cm = coeficiente de manutenção (m<sup>2</sup>/m);

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

1000 = fator de conversão.

- **Índice de circularidade**

A equação utilizada é dada por:

$$Ic = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (10)$$

Sendo:

Ic = Índice de circularidade;

A = área da bacia (km<sup>2</sup>);

P = Perímetro da bacia (km).

O índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia aproxima-se da forma circular, e diminui à medida que a forma se torna alongada (CRHISTOFOLETTI, 1980).

- **Fator de forma**

Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão) (HORTON, 1945).

A equação utilizada é dada por:

$$Kf = \frac{A}{Lb^2} \quad (11)$$

Sendo:

Kf = fator de forma;

A = área da bacia (km<sup>2</sup>);

Lb = comprimento máximo da bacia (km).

O fator de forma é um índice que exprime a maior ou menor tendência para enchentes numa bacia. Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo tem menos tendência para cheias do que uma bacia do mesmo tamanho, mas com fator de forma superior.

Quanto mais próximo o resultado estiver do valor um (1), a forma da bacia será mais arredondada, o que pode ser indicador de maior ocorrência de enchentes, uma vez



que haverá a possibilidade das chuvas se concentrarem no interior da bacia. Caso contrário, a forma da bacia hidrográfica será mais alongada, o que representa uma redução da probabilidade de enchentes repentinas nos períodos de ocorrência de chuvas intensas.

#### 2.5.4 Parâmetros hipsométricos

A análise hipsométrica de bacias hidrográficas fornece uma visão sintética sobre o relevo da bacia. Este tipo de análise relaciona as altitudes, a amplitude do relevo e atributos da rede de drenagem.

- **Altitude mínima da bacia**

Refere-se à menor altitude altimétrica localizada no interior da bacia, na foz do canal principal ( $H_{min}$ ).

- **Altitude máxima da bacia**

Refere-se à maior altitude altimétrica localizada no interior da bacia ( $H_{max}$ ).

- **Amplitude altimétrica máxima da bacia**

Refere-se à diferença altimétrica entre a altitude da foz e a altitude do ponto mais alto do divisor topográfico ( $H_m$ ).

$$\Delta H = H_{max} - H_{min} \quad (12)$$

Sendo:

$\Delta H$  = amplitude altimétrica (m);

Hmax = Altitude máxima da bacia (m);

Hmin = Altitude mínima da bacia (m).

- **Relação de relevo**

A relação de relevo proposto por Schumm (1956) relaciona a amplitude altimétrica com o maior comprimento, indicando que quanto mais elevado o seu valor, maior o desnível entre a cabeceira e a foz (STRAHLER, 1957).

A equação utilizada é dada por:

$$Rr = \frac{\Delta H}{L} \quad (13)$$

Sendo:

Rr = relação de relevo;

$\Delta H$  = amplitude altimétrica (km);

L = comprimento da bacia (km).

Quanto maior a razão de relevo, maior será a quantidade de água a escoar superficialmente e a capacidade energética dos seus fluxos d'água no processo erosivo e no transporte de sedimentos, consequentemente, maior será a velocidade da água no sentido do maior comprimento da bacia (ROSSI e PFEIFER, 1999)

- **Índice de rugosidade**

Índice de rugosidade, segundo Strahler (1957), é o produto da amplitude altimétrica de uma bacia hidrográfica pela sua densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A equação utilizada é dada por:

$$Ir = \Delta H \times Dd \quad (14)$$

Sendo:

$I_r$  = índice de rugosidade;

$\Delta H$  = amplitude altimétrica (m);

$D_d$  = Densidade de drenagem (km/km).

O valor de índice de rugosidade representa aspectos da declividade e comprimento da vertente. Bacias hidrográficas com  $I_r$  elevado são de alta energia (dada à elevada amplitude altimétrica) e/ou são bacias com alta transmissividade hidráulica, já que todos os pontos da bacia estão mais próximos da rede de drenagem, convertendo o fluxo de vertente em fluxo fluvial em menor tempo (CHRISTOFOLETTI, 1980).

#### 2.5.5 Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal de um rio é a representação gráfica das variações da declividade de um canal desde a sua nascente até a foz. Expressa a relação entre o seu comprimento e sua altimetria. O perfil típico é côncavo, com declividades maiores em direção à nascente, e cursos d'água que apresentam tal morfologia são considerados em equilíbrio entre atuação da erosão, do transporte e da deposição de sedimento (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo Cunha (1993), a forma do perfil reflete o ajuste do rio a diferentes fatores, com diferentes flutuações e propagações de ações erosivas e deposição para montante, que tendem a alterar a declividade e a forma do canal, eliminando as irregularidades da calha.

Segundo Lepold, Wolman e Miller (1964), o perfil longitudinal é dependente, sendo controlado pelas seguintes variáveis: débito, carga detrítica fornecida ao canal, tamanho dos detritos, resistência ao fluxo, velocidade, largura, profundidade e declividade (CHRISTOFOLETTI, 1981). Desta forma, o levantamento do perfil longitudinal é um importante procedimento para o entendimento dos aspectos relacionados aos ajustes dos processos geomorfológicos.

As rupturas de declive ou mudanças na forma do perfil longitudinal indicam processos de ajuste que atuam no equilíbrio das formas e transporte de materiais. Tais mudanças estão associadas a corredeiras, cachoeiras, saltos, áreas de confluência de tributários e evidências de captura fluvial.

O comportamento do rio é diferenciado ao longo do seu curso. Neste sentido, Hack (1973) propôs uma unidade de mensuração para analisar trechos de perfis longitudinais de rios denominados Relação Declividade e Extensão do segmento (RDEs), também encontrada na literatura como índice de Hack, que é a relação da declividade e a extensão de um trecho de rio (CHRISTOFOLETTI, 1981), conforme demonstrado na figura 2.5.5-1.

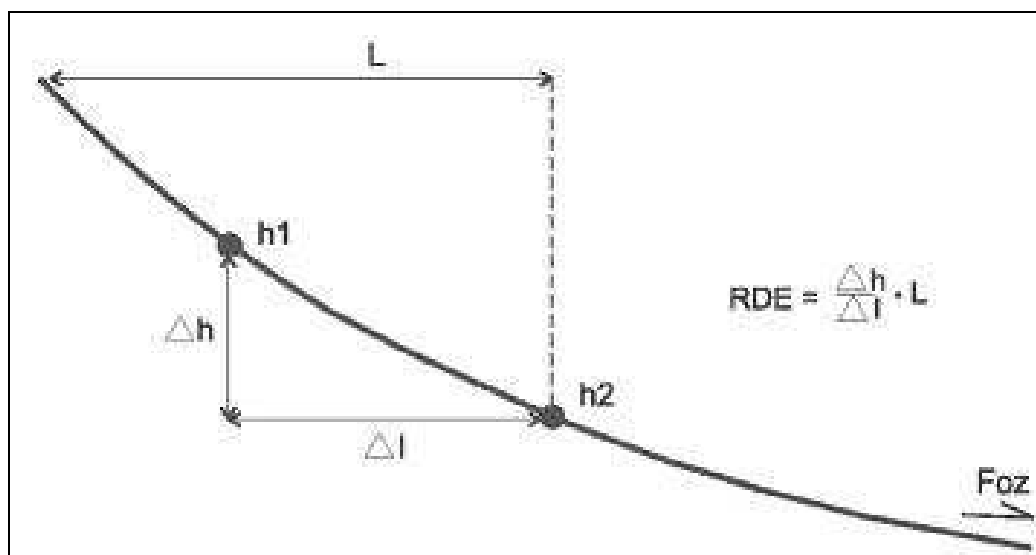


Figura 2.5.5-1: Esquema demonstrando o cálculo de RDE (fonte: Etchebehere et al., 2004).

O RDE é um índice que se baseia na razão entre a declividade de um determinado trecho de um canal, multiplicada pela projeção horizontal desse trecho medido desde a cabeceira da drenagem até ao ponto mais a jusante do trecho do canal objeto de análise (ETCHEBEHERE et al., 2004).

A equação utilizada é dada por:

$$RDEs = \frac{\Delta H}{\Delta L} * L_s \quad (15)$$

Sendo:

RDEs = Relação declividade e extensão do segmento;

$\Delta H$  = amplitude altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento do canal;

$\Delta L$  = projeção horizontal da extensão do referido segmento L - distância entre o segmento e a nascente;

$L_s$  = Distância entre o segmento e a nascente;

Segundo Hack (1973), o índice de declividade está relacionado com a competência do rio em transportar material de determinada característica granulométrica, existindo relação funcional entre ambos. Nesse sentido, o índice de Hack está relacionado com os níveis de energia da corrente correspondente à capacidade de erosão e transporte de sedimentos. Deste modo, os altos valores apontam uma aptidão maior de erodibilidade e competência do rio.

Segundo Etchebehere et al. (2006),

O índice RDE correlaciona-se com os níveis de energia da corrente (*stream Power*), refletida na capacidade de esta erodir o substrato e/ou de transportar a carga sedimenta (...). Os índices RDEs são indicadores sensíveis de mudanças na declividade de um canal fluvial, que, por sua vez, pode estar associado a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico e/ou à atividade tectônica. (Etchebehere 2006, p.275).

Etchebehere op cit. observa que o índice RDEs cresce onde o rio flui por sobre rochas mais resistentes, nas quais predomina o transporte de sedimento e decresce onde percorre um substrato mais macio, no qual predomina o depósito de sedimentos.

### 2.5.6 Curva hipsométrica/hipsográfica e de volume

Análise hipsométrica ou hipsográfica é o estudo da distribuição da área da superfície terrestre ou da área da seção transversal horizontal de uma massa de terra com a sua respectiva elevação.

A curva hipsométrica é a curva resultante do cruzamento entre faixas altimétricas de uma unidade geomorfológica e sua área acumulada em porcentagem, onde as abscissas correspondem a áreas acumuladas e, as ordenadas à altimetria. Segundo Strahler (1952), a curva hipsométrica deve sempre iniciar a curva à esquerda com valores de  $X=0$  e  $Y=1$ , e findar a curva à direita com valores de  $X=1$  e  $Y=0$ .

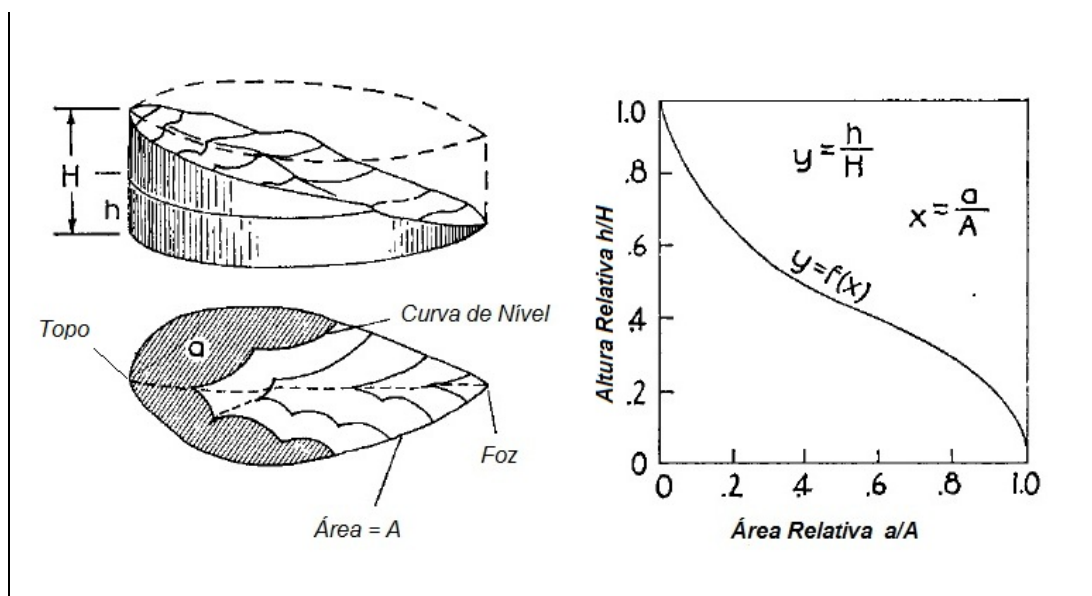


Figura 2.5.6-1: Curva hipsométrica/hipsográfica, adaptada de Strahler (1952) e organizado por autora (2013).

A curva hipsométrica/hipsográfica demonstra a composição do relevo, isto é, como a variação altimétrica se comporta dentro de uma determinada área.

É possível obter a curva hipsométrica e de volume,

Calculando-se as áreas existentes entre cada faixa altimétrica e colocando-se os valores obtidos em um gráfico no qual, em ordenadas estão assinaladas as altitudes (em metros), e nas abscissas a área (em quilômetros quadrados), ter-se-á uma linha que é a curva hipsométrica que tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo. Conhecendo-se a altura e a área de cada faixa altitudinal analisada, é fácil calcular o volume de cada faixa respectiva. A soma de todas representará o volume rochoso ainda existente na região. Se considerarmos o espaço total do quadrado como correspondente à curva hipsométrica e as linhas inferiores e laterais esquerdas, representa o volume ainda existente (Christofolletti, 1980 p.101).

A Integral Hipsométrica (IH) é a área abaixo da curva hipsométrica e corresponde à composição do relevo da área de estudo. Esse parâmetro é usado para estudar a composição do relevo em estudos regionais que pretendem comparar o comportamento do relevo de um grupo de bacias frente a processos erosivos.

Segundo Strahler (1952), para obter a IH, digitalizar-se-ão as áreas das bacias compreendidas entre a primeira curva de nível e a linha do divisor de águas na sua parte mais alta e, a seguir, as áreas projetadas (a) correspondentes a cada curva e sua subsequente. Estabeleceram-se as relações de cada área projetada com a área total da bacia (a/A).

Esses valores são representados no eixo das abscissas (X) e as altitudes relativas (h/H) no eixo das ordenadas (Y), sendo H a amplitude altimétrica e h a altitude relativa entre as curvas. O valor da integral hipsométrica de cada bacia hidrográfica é obtido planimetrando-se as áreas delimitadas pela parte inferior das curvas e os eixos "X" e "Y" (STRAHLER, op. cit.).

A Integral Volumétrica (IV) é a relação do volume ou porcentagem do volume total da bacia localizada abaixo da curva de volume, que expressa o material remanescente em função dos processos erosivos.

Para obter a IV, calculam-se os volumes de terra utilizando a seguinte fórmula:

$$v = \frac{(h_1 - h) \cdot a + a_1}{2} \quad (16)$$

Sendo:

$v$  = Volume

$h$  = Diferença da cota inferior da bacia com as cotas sucessivas

$a$  = Área entre intervalo de cota

O somatório dos volumes obtidos fornece o volume total ( $V$ ) de terra compreendida pelo plano horizontal (base plana), que passa pelo ponto mais baixo da bacia e o plano inclinado. Se estabelecem as relações ( $v/V$ ), sendo esses valores demarcados no mesmo gráfico da Integral Hipsométrica (VIEIRA, 1978).

Segundo Vieira (1978), a Integral Hipsométrica representa o material existente antes do início do processo erosivo, e a Integral Volumétrica o volume de terra ainda existente, enquanto a diferença entre elas representa o material erodido na bacia hidrográfica.



### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS**

Para atender os objetivos propostos na pesquisa realizaram-se o levantamento e a aquisição de materiais bibliográficos relacionados com o tema de estudo, com intuito de fornecer base teórica e conceitual que desse respaldo à análise dos resultados obtidos na pesquisa. Cabe ressaltar que a pesquisa bibliográfica foi realizada durante todo o período da pesquisa.

Os principais temas levantados na pesquisa bibliográfica foram: estudo da dinâmica fluvial, hidrogeomorfologia, hidrosedimentologia, bacia hidrográfica e análise morfométrica em bacia hidrográfica.

Realizaram-se o levantamento e a aquisição de materiais cartográficos e de sensoriamento remoto junto a órgãos públicos e sites oficiais do governo, no formato vetorial e raster/GRID, para a elaboração de mapas e processamento de dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

As fontes de base de dados da pesquisa foram: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Agência Nacional das Águas (ANA), Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA), Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologia (LCGGEO) e Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos/Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão (GEARH/LABHIDRO).

Por meio do IEMA, foram obtidos os Ortofotomosaicos na escala 1:15.000, originado do Vão Aerofotogramétrico na escala de 1:35.000 com data de junho de 2007. A qualidade e o detalhamento das ortofotos (figura 3.1-1) auxiliaram nas visitas a campo e na verificação do uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas.

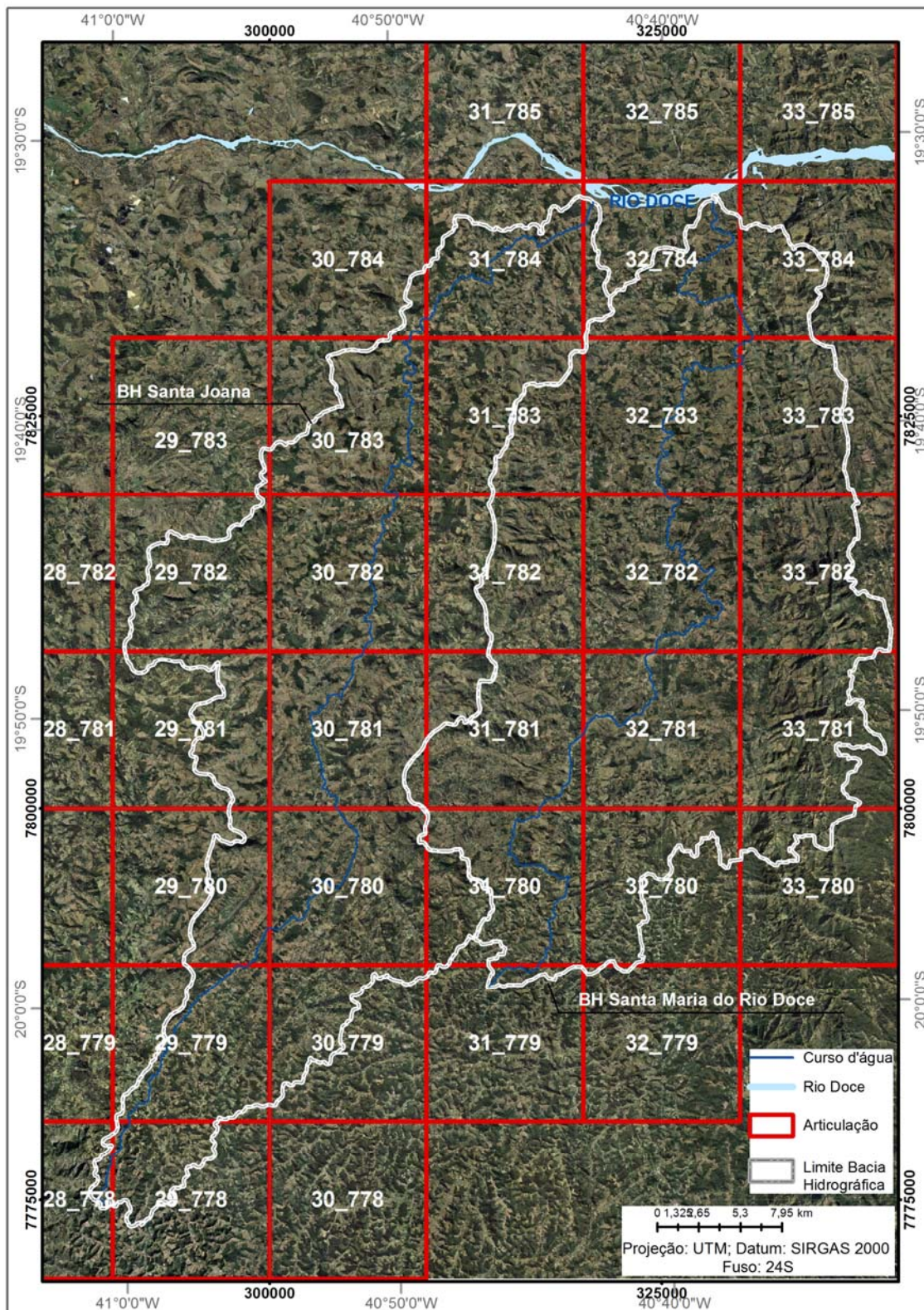


Figura 3.1-1: Articulação das ortofotos do IEMA (2007/2008).

A tabela 3.1-1 apresenta descrição das bases de dados obtidos para a realização do trabalho.

**Tabela 3.1-1: Base de dados utilizados no trabalho.**

<b>Base de Dados</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>	<b>Material de Análise</b>
Ortofotos	IEMA (2007)	1:15.000	Diversas Quadrículas
Imagens de Satélite	Google Earth	-	Imagens diversas
Imagem SRTM	EMBRAPA (2005)	1:25.000	SE-24-Y-C e SE-24-Y-A
Carta Topográfica	IBGE	1:50.000	SF-24-Y-C-VI-3
Carta Topográfica	IBGE	1:100.000	SE-24-Y-C-VI
Carta Topográfica	IBGE	1:250.000	SE-24-Y-C/SF-24-V-A
Base de dados vetoriais do ES	IJSN (2010 a 2012)	-	Temas diversos
Base de dados vetoriais e raster do ES	LCGGEO	-	Temas diversos
Dados Hidrosedimentológicos	GEARH/LA BHIDRO	-	Concentrações de sedimentos suspensos e Vazão
Dados pluviométricos	ANA	-	Séries Históricas de Chuva

Informações relativas à hidrosedimentologia das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana foram pesquisadas em relatórios do estudo denominado “Modelagem e Proposição de Alternativas para a Minimização de Produção, Transporte e Deposição de Sedimentos e Melhoria de Qualidade de Água no Sistema Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Doce”, financiado pela FAPES com apoio do CNPq, que obteve dados de descargas líquidas, concentração de sedimentos suspensos e granulometrias de sedimentos suspensos e de leito, para cálculo de descargas sólidas relativas a eventos de precipitações pluviométricas. A metodologia utilizada no estudo citado encontra-se em ANEXO.

Os dados de precipitação foram obtidos no banco de dados Hidroweb, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). As estações foram selecionadas conforme a localização em relação à área de estudo e a disponibilidade dos dados de chuva nas datas que ocorreram as campanhas de monitoramento hidrosedimentológico (19/03/2011, 24/08/2011, 19/11/2011, 13/01/2012 e 26/04/2012). A figura 3.1-2 apresentam os pontos monitorados no estudo citado e as estações pluviométricas analisadas.



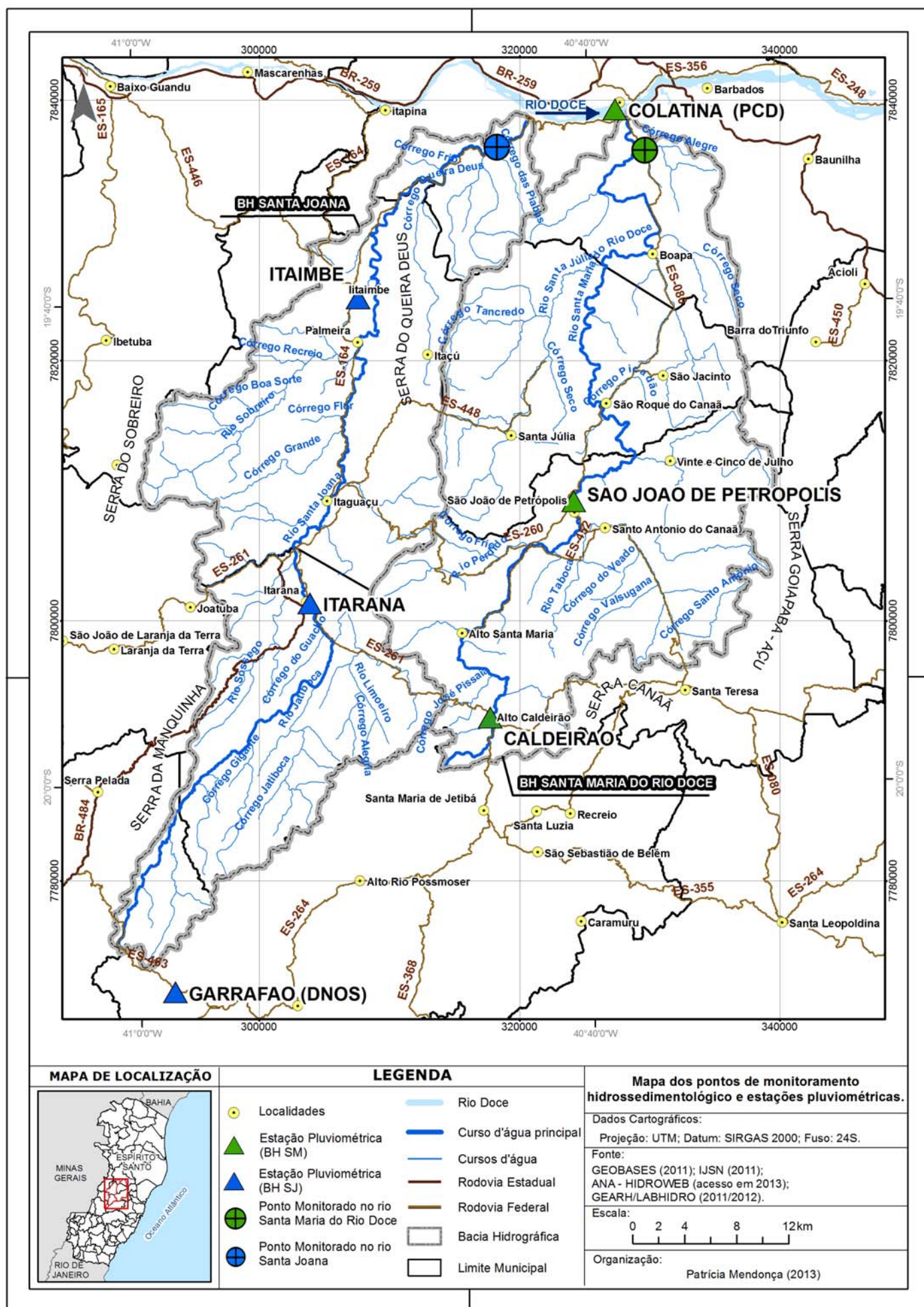


Figura 3.1-2: Mapa dos pontos de monitoramento hidrosedimentológico e estações pluviométricas

### 3.2 ROTEIRO METODOLÓGICO

O fluxograma operacional (figura 3.2-1) corresponde ao resumo das etapas teórica e metodológica da elaboração do trabalho.

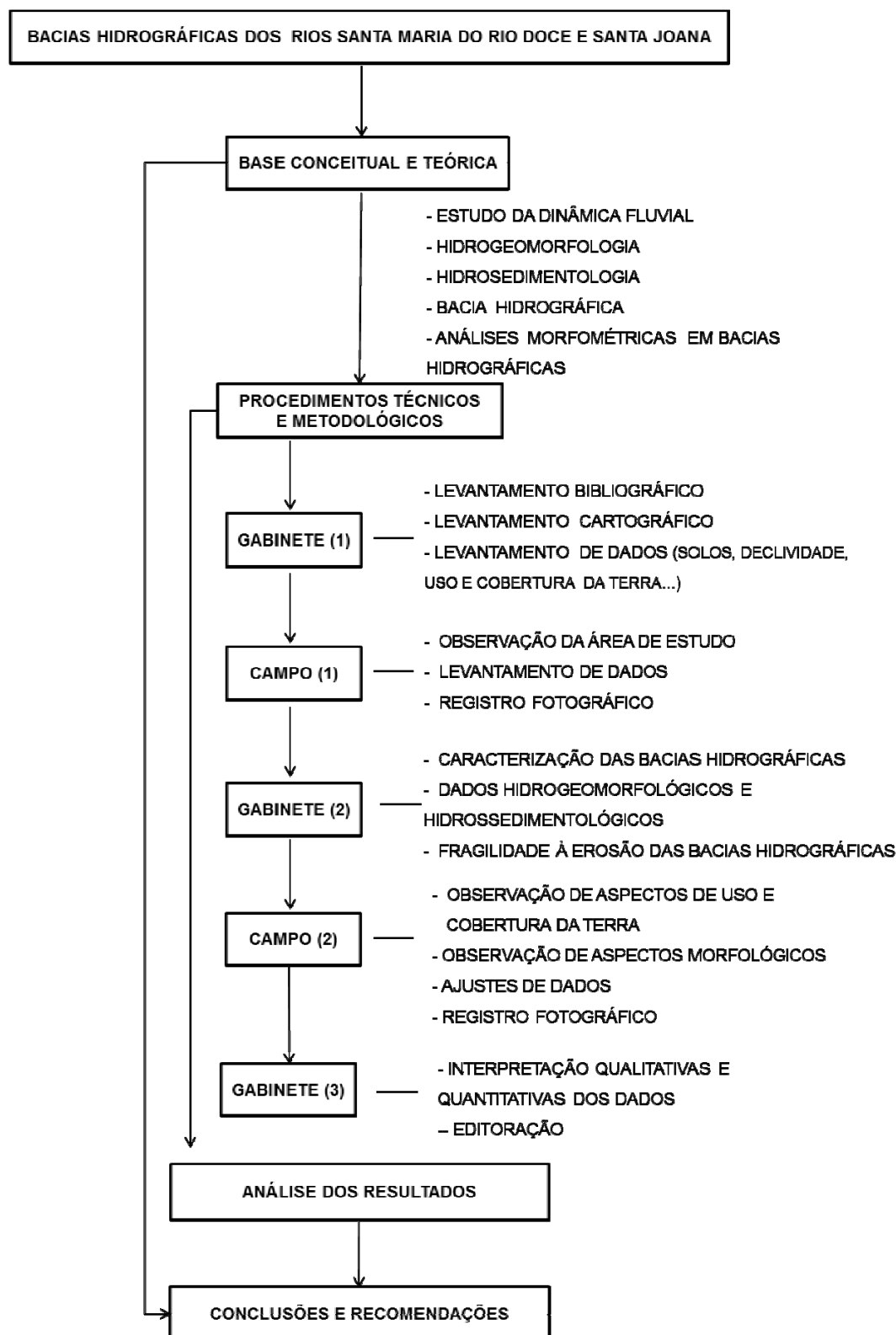


Figura 3.2-1: Fluxograma das etapas do trabalho

Os procedimentos técnicos empregados foram desenvolvidos em cinco etapas apresentadas a seguir: trabalho de gabinete (1), trabalho de campo (1), trabalho de gabinete (2), trabalho de campo (2) e trabalho de gabinete (3).

- **Trabalho de Gabinete (1)**

Os trabalhos de gabinete (1) tiveram como objetivos a elaboração da base conceitual e teórica da pesquisa, definição da metodologia empregada, seleção dos documentos cartográficos e o levantamento/obtenção da base de dados utilizadas no decorrer deste trabalho.

A primeira etapa dos trabalhos de gabinete abrangeu a pesquisa bibliográfica dos principais temas abordados na pesquisa para fundamentação teórica, conceitual e metodológica do trabalho.

O levantamento de dados referentes à área das bacias hidrográficas de estudo foi realizado junto a órgãos públicos estaduais e federais. O item 3.1 do trabalho apresenta informações detalhadas dos dados obtidos.

Foram definidos limites das bacias hidrográficas estudadas com base na delimitação empregada no Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise Santa Maria do Doce (PARH-SM).

A rede de drenagem da bacia do rio Santa Maria do rio Doce foi definida a partir da planta topográfica do IBGE, SE-24-Y-C-VI de escala 1:100.000. A rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Santa Joana foi definida a partir das cartas topográficas SE-24-Y-C-VI de escala 1:100.000 e SF-24-V-A-V de escala 1:50.000 (figura 3.2-2).

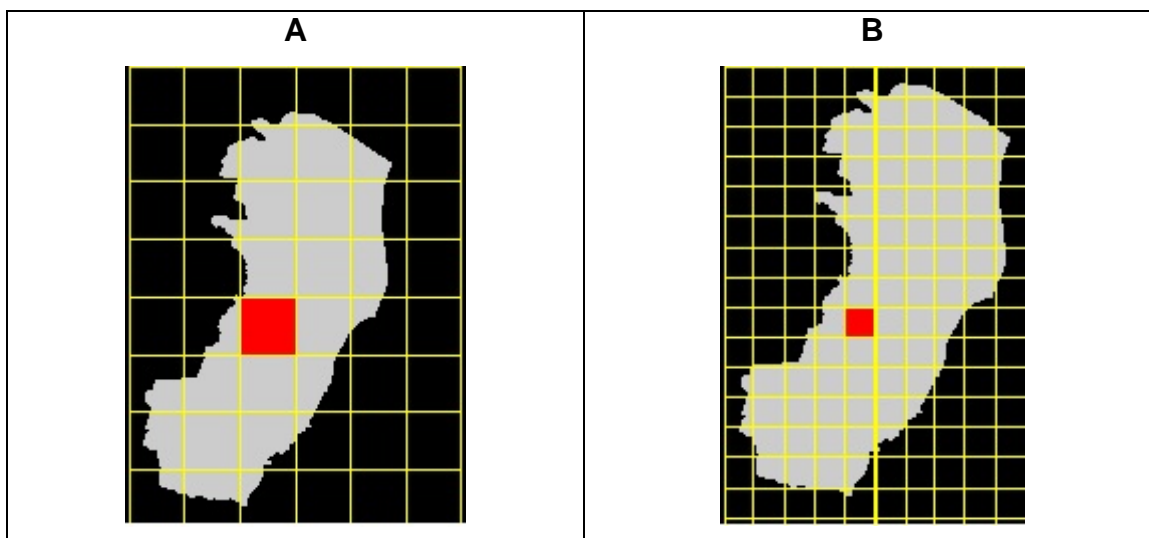


Figura 3.2-2: Articulação das cartas topográficas SE-24-Y-C-VI (A) e SF-24-Y-C-VI-3 (B) (fonte: <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/>).

Para evitar distorção na análise hidrogeomorfológica da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Santa Joana, os cursos d'água da parte da bacia mapeadas na escala 1: 50.000 (figura 3.2-2 B) foram ajustadas para a escala de 1: 100.000.

Outra atividade desenvolvida nessa etapa foi a elaboração de mapa-base para o trabalho de campo (1) apresentando informações rodoviárias, topográficas, localidade e ortofotos do IEMA.

- **Trabalho de Campo (1)**

O trabalho de campo (1) realizado em maio de 2012 teve como objetivo o reconhecimento da área de estudo e registro fotográfico. Foram utilizadas cartas topográficas, ortofotos do IEMA, mapa elaborado em gabinete além de GPS para auxílio na localização e marcação de pontos da área de estudo. Foi realizada documentação fotográfica, para o registro de feições morfológicas e de usos e cobertura da terra dos locais visitados.

- **Trabalho de Gabinete (2)**

Os trabalhos de gabinete (2) tiveram como objetivos a obtenção de valores de variáveis hidrogeomorfológicas e hidrosedimentológicas relativas à área de estudo, elaboração de mapas de caracterização das bacias hidrográficas estudadas e do mapa de fragilidade à erosão.

Nesta segunda etapa dos trabalhos de gabinete foram calculados parâmetros hidrogeomorfológicos e hidrosedimentológicos (tabelas 3.2-1, 3.2-2 e 3.2-3).

**Tabela 3.2-1: Variáveis da análise hidrogeomorfológica.**

<b>Análise Hidrogeo-morfológica</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fórmula</b>
Linear	- Comprimento do canal principal	L	-
	- Hierarquia (Strahler)	u	-
	- Comprimento total da rede de drenagem	Lt	-
	-Extensão do percurso superficial	Eps	$Eps = 1/(2 * Dd) * 1000$
	- Gradiente do canal principal	Gcp	$Gcp = (Alt. max)/Lp$
	- Índice de sinuosidade	Is	$Is = 100 * (L - dv)/L$
Areal	- Área	A	-
	- Perímetro	P	-
	- Densidade de Drenagem	Dd	$Dd = Lt/A$
	- Coeficiente de Manutenção	Cm	$Cm = (1/Dd) * 1000$
	- Índice de Circularidade	Ic	$Ic = (12,57 * A)/P^2$
	- Fator de forma	Kf	$Kf = A/L^2$
Hipsométrica	- Altitude máxima	Hmax	-
	- Altitude mínima	Hmin	-
	- Amplitude altimétrica	ΔH	$\Delta H = Hmax - Hmin$
	- Relação de Relevo	Rr	$Rr = \Delta H/L$
	- Índice de rugosidade	Ir	$Ir = \Delta H \times Dd$



**Tabela 3.2-2: Variáveis da análise hidrogeomorfológica (continuação).**

<b>Análise Hidrogeo-morfológica</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fórmula</b>
Canal Principal	- Perfil Longitudinal	-	-
	- Relação declividade e extensão de trecho	RDEs	$RDEs = \Delta H / \Delta L * L$
Curva hipsométrica e de volume	- Integral hipsométrica - Integra volumétrica	Material erodido	$Material\ erodido = IH-IV$

**Tabela 3.2-3: Variáveis da análise hidrosedimentológica.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fórmula</b>
- Descarga sólida de sedimentos em suspensão	Qss	$Q_{ss}=0,08649 \times Q \times C_{ss}$
- Produção específica diária de sedimentos em suspensão	Pss	$P_{ss} = Q_{ss}/A$

Foram elaborados mapas relativos aos temas hipsometria, declividade, geomorfologia, solos, pluviosidade e uso e cobertura da terra. Os mapas foram elaborados com o auxílio de SIG.

O mapa hipsométrico do relevo da área de estudo foi gerado por modelo numérico de terreno (MNT), que procura representar digitalmente o comportamento da superfície do Planeta em uma superfície tridimensional. Modelo digital do terreno foi elaborado por equações analíticas e representado por rede (grade) de pontos regulares e/ou irregulares (TIN - Triangular Irregular Network) (FITZ, 2008).

A hipsometria da região foi obtido através de Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução espacial de 90m, de dados da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM). O MDT representa as elevações de cada parcela do terreno e é disponibilizado para download no site da EMBRAPA (MIRANDA, 2005).

A representação das classes hipsométricas foi distribuída em cinco intervalos: 40-250 m; 251-500 m; 501-750 m; 751-1000 m; 1001-1011 m, na bacia hidrográfica do

rio Santa Maria do Rio Doce, e 40-250 m; 251-500 m; 501-750 m; 751-1000 m; 1001-1340 m, na bacia hidrográfica do rio Santa Joana.

A declividade do relevo é utilizada para representar a inclinação do terreno em relação ao plano. O mapa de declividade foi elaborado a partir do MDT e o comando *Slope* do *ARCGis* gerou arquivo *raster* com resolução espacial 30x30 m, com os valores dos pixels referentes à declividade do relevo apresentados em porcentagem.

Foi adotada classificação do relevo, a partir da declividade do terreno, de acordo com o projeto Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999). A tabela 3.2-4 apresenta a referida classificação.

**Tabela 3.2-4: Classes de declividade e tipo de relevo.**

<b>Declividade %</b>	<b>Classificação</b>
0 – 3	Relevo plano
4 – 8	Relevo suavemente ondulado
9 – 20	Relevo ondulado
21- 45	Relevo fortemente ondulado
46 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

(fonte: Embrapa, 1999)

As bases geomorfológica e pedológica consideradas foram desenvolvidas pelo projeto Radam Brasil que elaborou o mapeamento do Brasil. A escala de mapeamento referente à área de estudo foi de 1:250.000.

O mapa de pluviosidade foi elaborado a partir da interpolação pelo método de *Krigagem*, (método de regressão usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados) das séries históricas de precipitações pluviométricas anuais registradas em posto pluviométricos situados no interior e nas proximidades das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana (ANA, 2012).

O mapa de uso e cobertura da terra para as bacias foi elaborado a partir de plano de informação fornecido pelo Grupo de Estudos e Ações em Recurso Hídricos (GEARH-UFES), na escala 1:5.000.

Mapa de fragilidade à erosão foi gerado com o auxílio de SIG através da ponderação das classes de fragilidade das variáveis de índice de dissecação do relevo, pedológica, de declividade, pluviométrica e de uso e cobertura da terra com utilização de operações de manipulação e análise espaciais.

O procedimento metodológico para geração do mapa de fragilidade à erosão está embasado na proposta de Ross (1994), que sistematizou uma hierarquia que expressa o grau de fragilidade do ambiente em relação aos processos erosivos fluvial e pluvial representada pelas categorias: muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5).

A declividade do relevo para análise de fragilidade do ambiente foi classificada conforme proposta por Ross (1994), que considera que em terrenos com escalas de maior detalhe, como, por exemplo, 1:25.000, deve-se utilizar os intervalos de declividade já consagrados nos estudos de capacidade de uso e aptidão agrícola, associados com aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotécnica, que indicam o vigor dos processos erosivos.

As categorias das declividades hierarquizadas por Ross (1994) utilizadas na elaboração do mapa de fragilidade a erosão foram:

**Tabela 3.2-5: Categorias hierárquicas de declividade do relevo**

<b>Categorias Hierárquicas</b>	
Muito Fraca	até 6%
Fraca	de 6 a 12%
Média	de 12 a 20%
Forte	de 20 a 30%
Muito Forte	acima de 30%

(fonte: Ross, 1994).

O mapeamento geomorfológico considera a classificação do índice de dissecação do relevo considerando a classificação desse índice estabelecido por Ross (1992), que leva em conta a relação entre a dimensão interfluvial média e o entalhamento

médio dos vales. A tabela 3.2-6 classifica os valores de fraco à muito forte índice de dissecação, apresentada por Ross (1994).

**Tabela 3.2-6: Matriz dos índices de dissecação do relevo.**

<b>Graus de entalhamento dos vales (classes)</b>	<b>Dimensão interfluvial média (classes)</b>				
	<b>Muito grande (1) &gt; 3.750m</b>	<b>Grande (2) 1750 a 3.750m</b>	<b>Média (3) 750 a 1750m</b>	<b>Pequena (4) 250 a 750m</b>	<b>Muito pequena (5) &lt; 250m</b>
Muito fraco (1) < 20m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 a 40m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 a 80m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 a 160m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 160m	51	52	53	54	55

(fonte: Ross, 1994).

Com base no mapeamento geomorfológico do estado, do Radam Brasil foram levantadas categorias de índices de dissecação do relevo presentes na área de estudo e hierarquizadas conforme classificação de fragilidade elaborada por Ross (1994).

**Tabela 3.2-7: Categorias hierárquicas da matriz de dissecação do relevo.**

<b>Categorias Hierárquicas</b>	
Muito Baixa	11
Baixa	12, 21, 22
Média	13, 23, 31, 32 ,33
Alta	14, 24, 34, 41, 42, 43, 44
Muito Alta	15, 25, 35, 45, 51, 52, 53, 54,55

(fonte: Ross, 1994).

A variável pedológica possui base nas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo. Ross (1996) propõe classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Na tabela 3.2-8 são indicados os graus de fragilidade para os tipos de solos que ocorrem na área de estudo e que foram adotados no desenvolvimento do estudo, com base nos atributos originalmente elencados por Ross.

**Tabela 3.2-8: Categorias de fragilidade de acordo com tipo de solo**

<b>Categorias Hierárquicas</b>	
Baixo	Latossolo Vermelho-amarelo
Médio	Argissolo Vermelho-amarelo e Argissolo Vermelho
Forte	Cambissolos e Cambissolos Háplicos
Muito Forte	Neossolos Litólicos

(fonte: adaptado de Ross, 1994).

A tabela 3.2-9 apresenta os graus de fragilidade para os tipos uso e cobertura da terra que ocorrem na área de estudo, tendo como base classificação de graus de proteção do solo pela cobertura vegetal proposta por Ross (1994).

**Tabela 3.2-9: Categorias de fragilidade de acordo com tipo uso e cobertura da terra.**

<b>Categorias Hierárquicas</b>	
Muito Baixa	Alagado, afloramento rochoso, mata natural e florestas
Baixa	Macegas e floresta secundária
Média	Silvicultura e cultivo agrícola
Forte	Pastagem
Muito Forte	Solo exposto e área urbana

(fonte: adaptado de Ross, 1994).

As categorias de fragilidades empregadas relativas à variável referente à precipitação pluviométrica, foram definidas com base nos resultados das séries históricas de precipitação pluviométrica anuais das bacias hidrográficas. As categorias são apresentadas na tabela 3.2-10.

**Tabela 3.2-10: Categorias hierárquicas de pluviosidade.**

<b>Categorias Hierárquicas</b>	
Muito Baixa	926 – 1042 mm
Baixa	1042 – 1158 mm
Média	1158 – 1274 mm
Alta	1274 – 1390 mm
Muito Alta	1390 – 1506 mm

(fonte: adaptado de Ross, 1994)

- **Trabalho de Campo (2)**

Os trabalhos de campo (2) foram realizados em maio de 2013 e tiveram como objetivo observar os aspectos morfológicos e de uso e cobertura da terra em parcelas das bacias hidrográficas para a observação referentes aos resultados hidrogeomorfológicos, hidrosedimentológicos e de fragilidade à erosão obtidos no estudo para a área de estudo.

Parcelas das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana foram escolhidas para serem percorridas de acordo com o mapa de áreas de fragilidade à erosão buscando-se locais com fragilidade à erosão significativa.

Também foram percorridos pontos do perfil longitudinal dos rios e os locais onde foi efetuado o monitoramento hidroressedimentológico pelo estudo do GEARH/LABHIDRO. A figura 3.2-3 apresenta o trajeto e os pontos visitados e registrados fotograficamente.

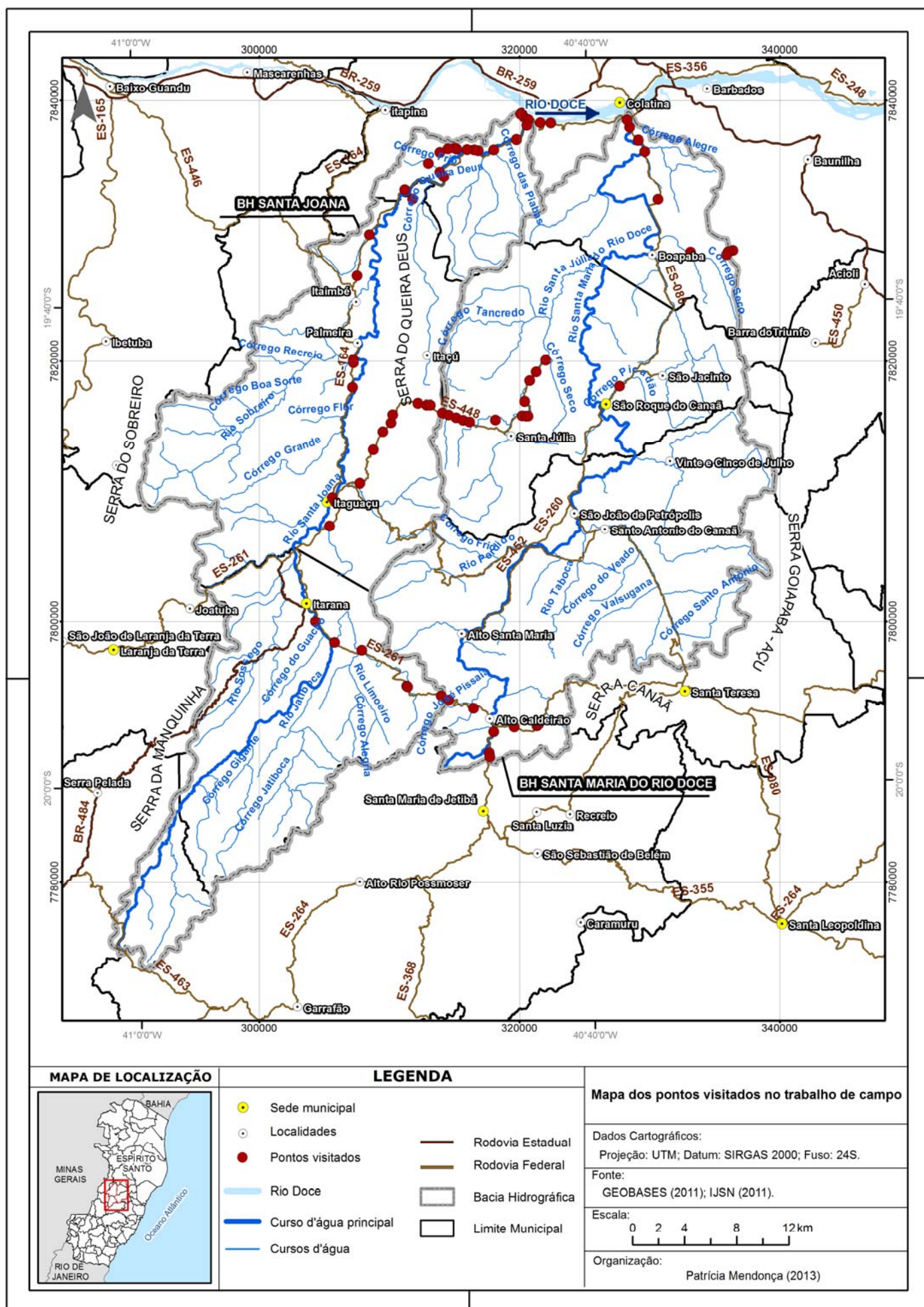


Figura 3.2-3: Mapa de pontos visitados na segunda campanha de campo do trabalho

Devido aos tamanhos das bacias hidrográficas e à dificuldade de acesso a algumas partes destas, complementarmente, foram feitas pesquisas em imagens de satélite do Google Earth e ortofotos disponibilizadas pelo IEMA.

- **Trabalho de Gabinete 3**

Os trabalhos de gabinete (3) abrangeram a organização do trabalho, a interpretação dos dados gerados de forma integrada e a elaboração de textos relativos a recomendações e considerações finais.



#### **4 CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS ENTRE AS BACIAS HIDROGRÁFICAS**

O presente capítulo busca fazer uma caracterização das bacias hidrográficas sob uma ótica sistêmica identificando os cenários ambientais existentes, com ênfase nos principais fatores que interferem nos processos erosivos.

A bacia hidrográfica (BH) dos rios Santa Maria do rio Doce (SM) e a bacia hidrográfica do rio Santa Joana (SJ) são sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Doce localizadas em seu curso médio, inseridas no Estado do Espírito Santo. Ambas estão localizadas na margem esquerda do rio Doce, de forma contígua.

- **Geologia e geomorfologia**

A geologia é dominada, basicamente, pelo Complexo Nova Venécia, que apresenta corpos granitóides de idades e composições diversas. Nestas litologias enquadram-se toda a sub-bacia do rio Santa Joana e grande parte da sub-bacia do rio Santa Maria do Doce. Do ponto de vista da geologia econômica abriga ocorrências de rochas ornamentais (PARH-SANTA MARIA, 2010).

O mapeamento geomorfológico realizado por Mendes et al. (1987) indica que a região está inserida nos domínios morfoestruturais Faixas de Dobramentos Remobilizados e Acumulação Fluvial; as regiões do Planalto da Mantiqueira Setentrional e Acumulação Fluvial; e as unidades geomorfológicas Maciços do Caparaó, Patamares Escalonados do Sul Capixaba e Acumulação Fluvial.

Faixas de Dobramentos Remobilizados englobam áreas de relevo predominantemente montanhoso, com altitudes variadas atingindo até 1500 m, distribuindo-se de forma irregular e descontínua próximo à costa e margens do rio Doce. As influências estruturais refletem-se nos grandes alinhamentos de cristas, de vales muito profundos e de escarpas adaptadas a falhas conforme direções NNE e ESE. Faz parte desse domínio a região do Planalto da Mantiqueira Setentrional (MENDES et al., 1987).

A região do Planalto da Mantiqueira Setentrional possui aspecto montanhoso fortemente dissecado incluindo altitudes variadas dispostas geralmente em níveis altimétricos relacionados com as fases de dissecação comandadas pelos rios, adaptadas às fraquezas litológicas e estruturais. A rede de drenagem integra a bacia do rio Doce, demonstrando um padrão subdendritico marcado por angulosidades, encachoeiramentos e inflexões bruscas dos canais. As unidades Patamares Escalonados do Sul Capixaba e Maciços do Caparaó fazem parte dessa região (MENDES et al.,1987).

A unidade dos Patamares Escalonados do Sul Capixaba distingue-se das demais áreas da região do Planalto da Mantiqueira Setentrional por ressaltar níveis de dissecação escalonados formando patamares, delimitados por frentes escarpadas adaptadas a falhas voltadas para noroeste e com caimento topográfico para sudeste, sugerindo blocos basculados para leste. Esses blocos são representados por elevações serranas que atingem altitudes em torno de 800 e 1000 metros (MENDES et al.,1987).

A unidade Maciços do Caparaó caracteriza-se por um modelo intensamente dissecado, com altitudes médias em torno de 600 m, destacado por grandes elevações maciças, compreendendo altitudes superiores a 1000 m. A acumulação Fluvial é referente a áreas planas resultantes de acumulação de sedimento fluvial sujeita a inundações periódicas, correspondentes às várzeas atuais (MENDES et al.,1987).

- **Hipsometria**

A hipsometria do relevo é importante para estudos de processos erosivos, principalmente os causados por escoamento superficial da água, pois a configuração topográfica de uma área de drenagem está estritamente relacionada com os fenômenos de erosão que se processam em sua superfície.

Os mapas hipsométricos permitem uma melhor identificação dos setores de maiores e menores altitudes de uma determinada área. Esta representação é feita a partir

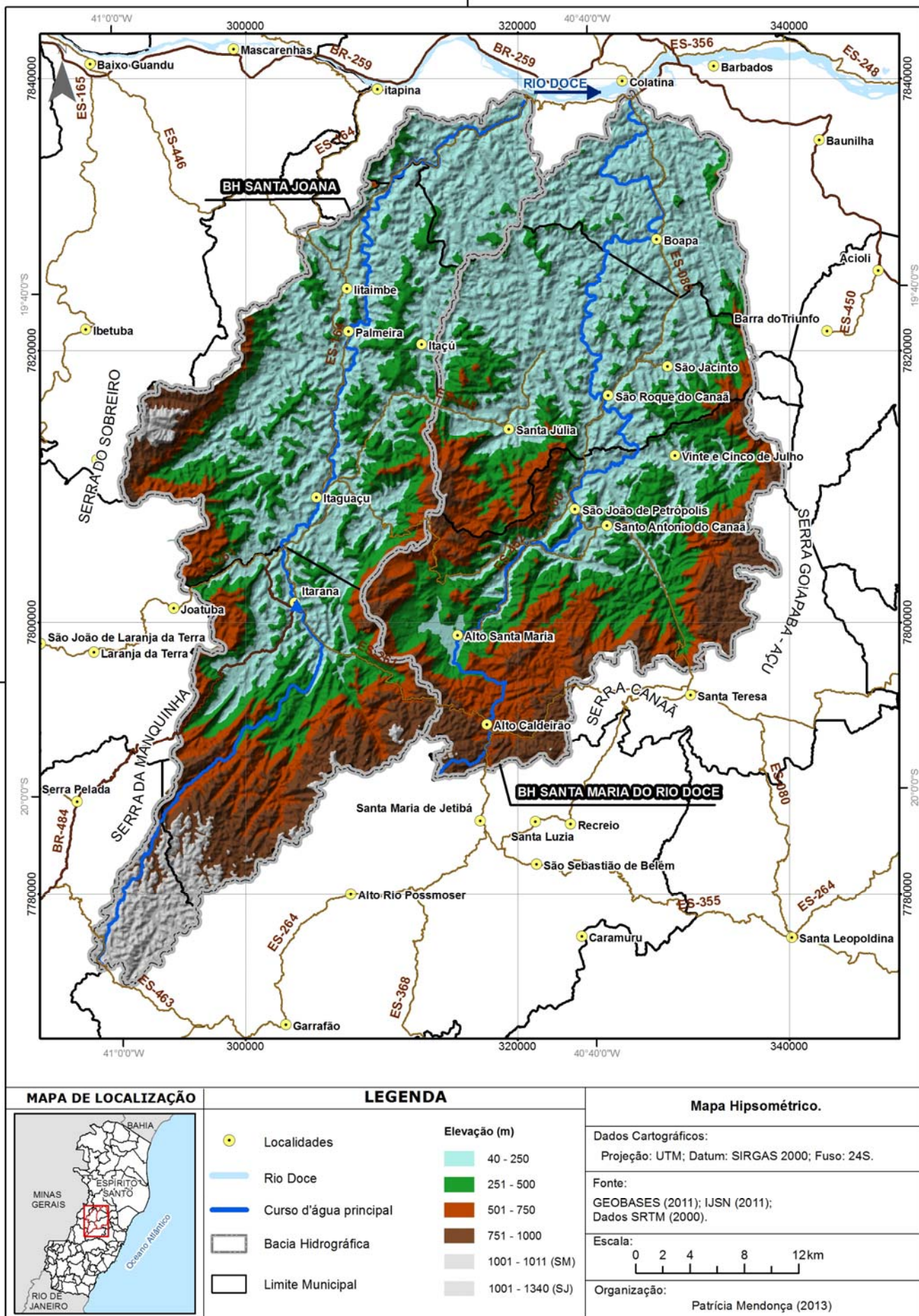


Figura 4-1: Mapa hipsométrico da área de estudo.

das linhas que em intervalos iguais ligam pontos de igual altitude ou cota, curvas de nível, da área a ser mapeada. Para Queiroz (2003), o mapa hipsométrico (figura 4-1) é muito importante para os estudos socioambientais, uma vez que fornece informações sobre o relevo, que exerce grande influência, tanto no aspecto natural como no aspecto cultural de uma região.

Ao redor da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce encontram-se a Serra do Canaã e a Serra Goiapaba-Açu no município de Santa Teresa. No oeste da bacia hidrográfica do rio Santa Joana encontra-se a Serra do Caparaó próximo à localidade de Itambé, a Serra do Sobreiro próximo à localidade Santa Rosa e a Serra da Manquinha próximo à localidade Serra Pelada. Próximo à margem direita do rio Santa Joana encontra-se a Serra Queira Deus.

O mapa hipsométrico das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana (figura 4-1) revela que estes possuem acentuado desnível altimétrico. As cotas variam entre 40 e 1011 m com amplitude altimétrica de 971 m na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce e na bacia do rio Santa Joana as cotas altimétricas variam entre 40 e 1340 m, com amplitude altimétrica de 1300 m. A tabela 4-1 apresenta os valores, em área e percentagem, das bacias por classes hipsométricas.

**Tabela 4-1: Porcentual das classes hipsométricas por bacia hidrográfica**

Classe (m)	BH SM		BH SJ	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
40 - 250	425,45	45,50	402,06	45,12
251 - 500	244,98	26,20	234,67	26,32
501 - 750	160,69	17,18	133,78	15,51
751 - 1000	102,27	10,94	120,54	13,53
1001 - 1011	1,73	0,19	-	-
1001 - 1340	-	-	71,91	8,07
Total	935	100	891	100

As maiores altitudes da BH SM estão entre 751 a 1011 metros, correspondendo a 11,13% da área total da bacia hidrográfica. Essa classe da bacia corresponde à unidade geomorfológica dos Patamares Escalonados Sul Capixaba. As classes hipsométricas da BH SM com altitudes inferiores a 750 metros fazem parte da unidade geomorfológica do Maciço do Caparaó. O intervalo altimétrico mais baixo (40 – 250 m) ocupa maior área da bacia hidrográfica SM, correspondente a 45,50% da área total.

As maiores altitudes da BH SJ corresponde ao intervalo entre 1001 e 1340 metros que equivale a 8,07% da área total da BH. Essa classe predomina no sul e no oeste da bacia hidrográfica, próximo ao divisor topográfico e pertence à unidade geomorfológica dos Patamares Escalonados Sul Capixaba. As classes hipsométricas com altitudes inferiores a 1001 metros fazem parte da unidade geomorfológica Maciço de Caparaó.

As classes referentes aos intervalos 751 – 1000 m e 501 – 750 metros de altitude equivalem a 13,53% e 15,51% da BH SJ, respectivamente. Assim como na BH SM, a classe de altitudes mais baixa da bacia hidrográfica, entre 40 – 250 metros ocupa maior área, correspondente a 45,12% da área total.

- **Declividade**

O mapa de declividade do relevo é empregado para prover informação sobre a praticabilidade de emprego de equipamentos agrícolas, normalmente mecanizados, e facultar inferências sobre susceptibilidade dos solos à erosão, bem como de expansão urbana (BRITO e ROSA, 2003).

A velocidade do escoamento superficial e sub-superficial de uma bacia fluvial é determinada pela declividade do terreno. Assim, a declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla, em boa parte, a velocidade do escoamento superficial, controlando o tempo de duração que leva a água das precipitações para atingir e concentrar-se nos canais fluviais (BRITO e ROSA, op cit.).

O grau de declividade de uma vertente, associado aos extensos comprimentos de rampa, ocasiona o aumento da velocidade de escoamento superficial e, como consequência, maior fragilidade quanto aos processos erosivos. Uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa também pode ser vulnerável aos processos de erosão quando submetida a uma grande vazão de escoamento de águas superficiais. Esse fator pode ocorrer dependendo das características de uso da área (CUNHA, 1995).

A declividade do relevo influencia o poder de erosão da água que é mais intensa em vertentes extensas e com alta declividade (LANZA, 2011). Quanto mais acentuado for o declive mais acelerado será o escoamento, contribuindo com a quantidade de material transportado das encostas, afetando os solos desprotegidos e depositando maiores quantidades de materiais na rede hidrográfica da bacia.

O mapeamento da declividade e classificação do relevo da área de estudo seguiu a classificação realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999), conforme tabela apresentada na página 48.

A figura 4-2 e a tabela 4-2 apresentam as declividades das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do rio Doce e Santa Joana.

**Tabela 4-2: Classificação da declividade do relevo.**

Declividade (%)	Classificação	BH Santa Maria do rio Doce		BH Santa Joana	
		Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0 – 4	Relevo plano	32,70	3,50	33,04	3,71
5 - 10	Relevo suavemente ondulado	89,65	9,59	88,91	9,98
11 – 20	Relevo ondulado	215,21	23,01	199,86	22,43
21- 45	<b>Relevo fortemente ondulado</b>	<b>499,26</b>	<b>53,39</b>	<b>479,81</b>	<b>53,85</b>
46 – 75	Relevo montanhoso	89,38	9,56	81,45	9,14
> 75	Relevo fortemente montanhoso	8,89	0,95	7,93	0,89
Total		935	100	891	100



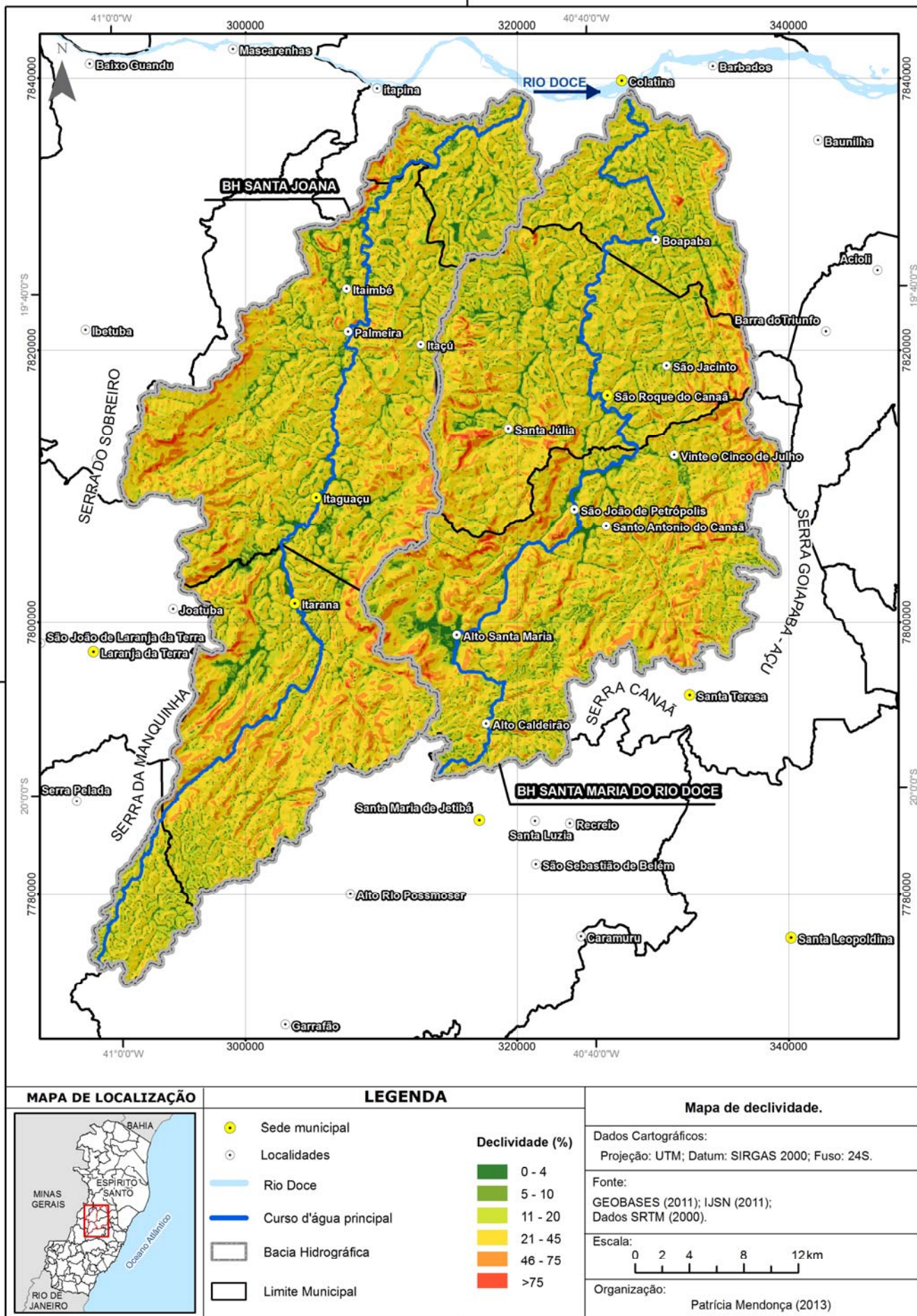


Figura 4-2: Mapa de declividade da área de estudo.

As áreas com declividades inferiores a 10% são consideradas fracas, próprias de relevos planos ou suavemente ondulados, onde o escoamento superficial é lento ou muito lento. Nessas áreas, o declive do terreno não oferece dificuldades à implantação de estruturas urbanas e agricultura mecanizada.

As áreas com intervalos entre 0 a 10% de declividade englobam 13,09% da BH SM e 13,69% da BH SJ, localizando-se principalmente nas áreas de planície fluvial às margens dos rios e córregos das bacias a até 200 metros de altitude.

Ambas as bacias hidrográficas possuem maior proporção da área com declividades entre 21 a 45%, classificada como de relevo fortemente ondulado. A BH SM apresenta 53,39% de sua área nessa classe e a BH SJ apresenta 53,85%. As áreas da BH SM com altitudes entre 501 e 750 metros de altitude predominam declividades superiores a 46%, que correspondem a 10,51% da área da bacia. As áreas da BH SJ com altitudes entre 501 e 1000 metros de altitude predominam declividades superiores a 46% que correspondem a 10,03% da área total da bacia.

Granell-Pérez (2001), estabeleceu relação entre declividades, morfologia e processos de erosão e atividades e considerou que locais com declividades acima dos 26,8% referem-se a morfologias de encostas serranas, escarpas de falhas e de terraços e estão suscetíveis a processos de erosão linear muito forte, destruição de solos, movimentos de massa como escorregamentos, deslizamentos e quedas de blocos ligados à quantidade de chuvas.

Observa-se que aproximadamente 63% da área total das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana possuem declividade superior a 26,8% estando suscetíveis aos processos de erosão citados pelo autor.

- **Índice de dissecação do relevo**

O índice de dissecação do relevo de uma bacia hidrográfica corresponde à relação da dimensão interfluvial média e o grau de entalhamento dos vales. Com essa hierarquização é possível espacializar o grau de fragilidade natural do ambiente



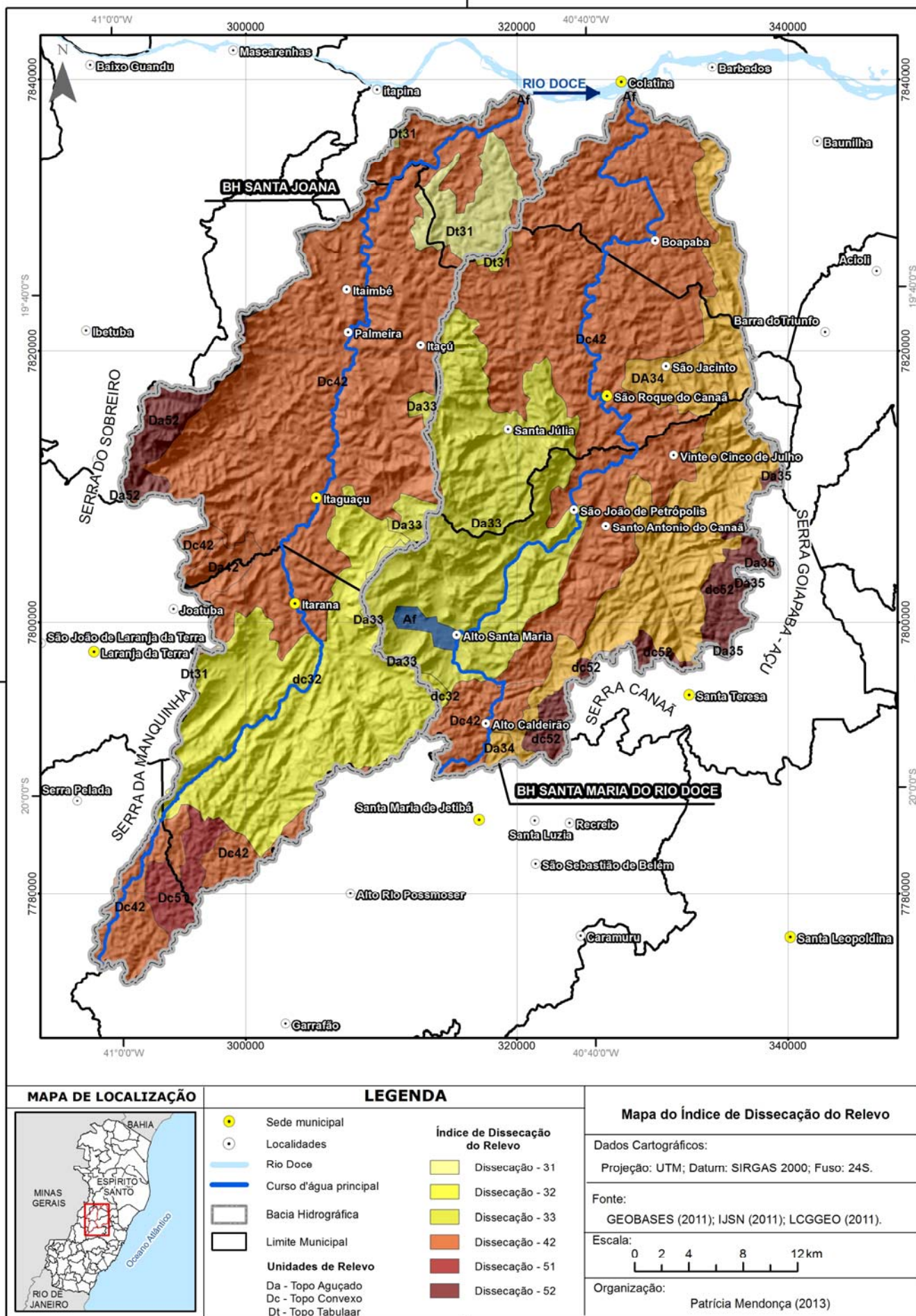


Figura 4-3: Mapa de índice de dissecação do relevo da área de estudo.

(WERLANG, 2004). A figura 4-3 apresenta mapa de índice de dissecação do relevo das bacias hidrográficas.

Os valores relativos ao índice de dissecação do relevo referente às bacias hidrográficas dos rios SM e SJ estão apresentados na tabela 4-3. Tais valores foram calculados a partir da matriz dos índices de dissecação do relevo proposta por Ross (1994), conforme tabela apresentada na página 50.

**Tabela 4-3: Classificação de índice de dissecação do relevo.**

Índice de Dissecação do Relevo	BH Santa Maria do rio Doce		BH Santa Joana	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
Acumulação Fluvial	8,79	0,94	2,95	0,33
Dissecação 31	2,87	0,31	52,82	5,93
Dissecação 32	4,78	0,51	244,49	27,44
Dissecação 33	240,75	25,75	26,79	3,01
Dissecação 34	208,97	22,35	-	-
Dissecação 42	426,86	45,65	528,09	59,27
Dissecação 51	-	-	35,86	4,02
Dissecação 52	41,98	4,49	-	-
Total	935	100	891	100

Predomina nas bacias hidrográficas Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana feições de dissecação com padrão de forma de topo de relevo convexo (Dc). As áreas das bacias com padrão de forma de topo de relevo anguloso (Da) encontram-se nas partes mais elevadas das bacias hidrográficas. Na BH SM próximo à Serra Goaipaba-açu e na BH SJ, próximo à Serra do Sobreiro apresentam padrão de forma de topo de relevo Da.

Ambas as bacias apresentam áreas de acumulação fluvial nas proximidades da desembocadura do rio no rio Doce. Na parte sudoeste da BH Santa Maria do Rio Doce, a oeste da localidade Alto Santa Maria, ocorre área de acumulação de sedimento fluvial que corresponde a 0,94% da área total da bacia.

As bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana possuem maiores proporções de áreas correspondentes à Dissecação 42 (45,65% e 59,27%, respectivamente). Cabe observar que áreas classificadas D42, segundo matriz dos índices de dissecação do relevo apresentam, na sua maioria, distância interfluvial de 5 a 10 km e forte aprofundamento dos vales.

Na parte oeste da bacia Santa Maria do rio Doce onde predomina índice de dissecação 33, apresenta 3,5 a 5 quilômetros de distância interfluvial e médio aprofundamento dos vales. Observa-se que 25,75% da bacia corresponde ao índice de dissecação D33. A bacia do rio Santa Joana apresenta 27,44% da sua área com índice de dissecação 32, que corresponde a 5 a 10 km de distância interfluvial e médio aprofundamento dos vales.

- **Clima**

O clima na região das bacias hidrográficas estudadas corresponde ao Aw (clima tropical com estação seca de inverno) e Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) da classificação climática de Köppen (EPE, 2006).

A figura 4-4 apresenta os valores de precipitação média anual das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana e a localização dos postos pluviométricos dentro e nas proximidades das bacias (ANA, 2012). Os dados da série histórica de precipitação, que foram base para gerar o mapa pluviométrico, foram adquiridos das estações pluviométricas indicadas no mapa com mais de trinta anos de dados sistematizados.

O padrão de distribuição espacial da precipitação em bacias hidrográficas é bastante complexo, devido à influência de vários fatores, tais como a topografia (orografia), a distância a partir dos grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros. (AYOADE, 2007).

Observa-se que as maiores concentrações de chuva na BH SM estão localizadas na parte da bacia inserida no município de Santa Teresa nas serras Goiapaba-Açu e Canaã registrando valores superiores a 1800 mm/a decrescendo gradualmente



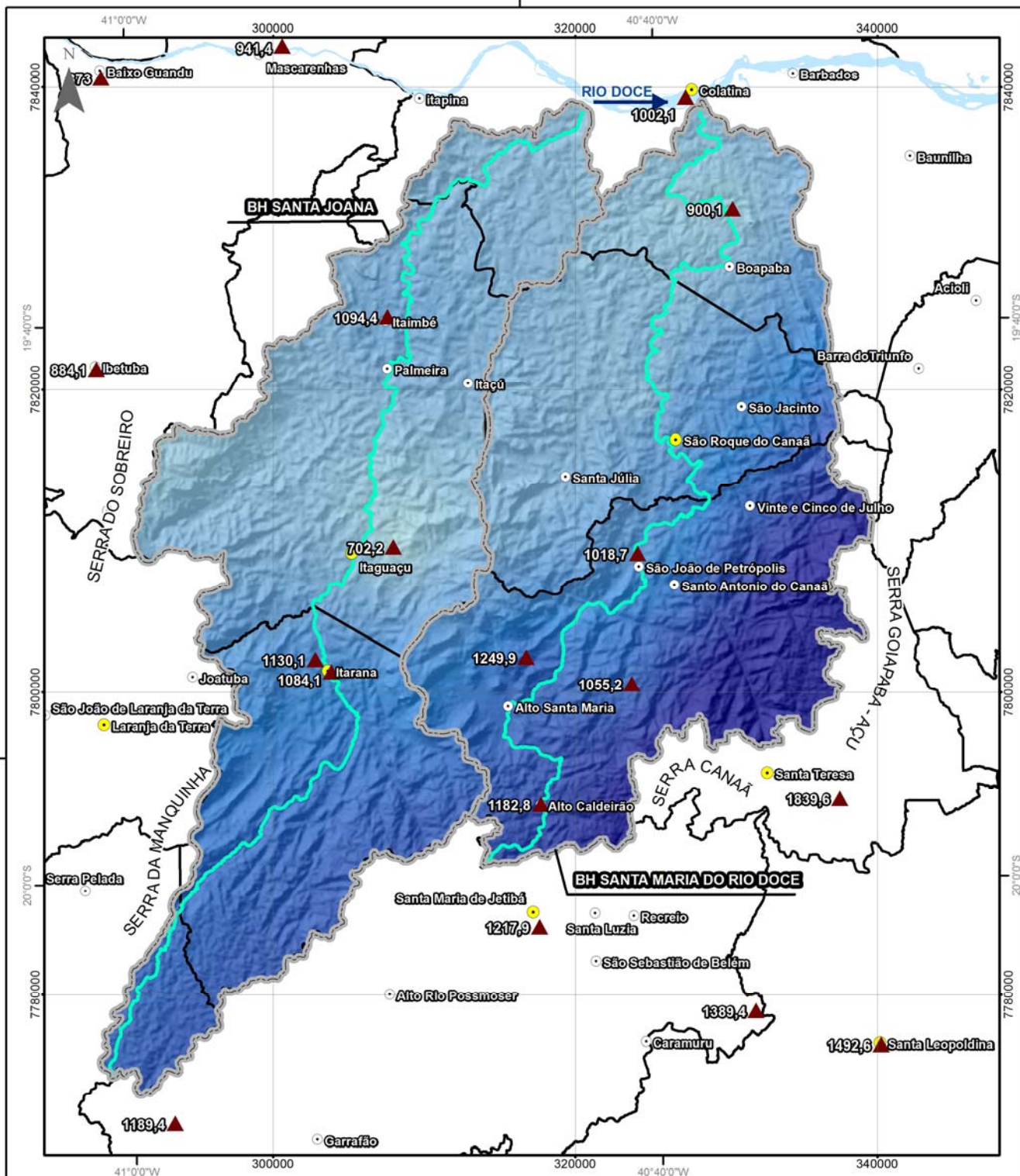


Figura 4-4: Mapa de pluviosidade da área de estudo.

sentido noroeste (próximos às localidades de Santa Júlia e Boapaba). O menor valor registrado na bacia foi de 900 mm/a na estação pluviométrica próxima à localidade de Boapaba.

As maiores concentrações de chuva na BH SJ estão localizadas na cabeceira da bacia hidrográfica inserida no município de Afonso Cláudio. A estação pluviométrica próxima a essa área registrou valor de 1189 mm/a. A partir dessa estação, os valores de chuva decrescem gradativamente ao longo da bacia hidrográfica. A estação pluviométrica localizada na sede do município de Itaguaçu registrou o menor valor de chuva, com 702 mm/a.

Segundo Feitoza (2001), a região localizada ao sul do rio Doce no Espírito Santo apresenta acentuada variação em sua distribuição de precipitação, tanto sazonal como espacial. Isso ocorre devido às diferentes condições de relevo, com planaltos ao longo da costa do Atlântico, regiões intermediárias com altitude entre 450 m e 850 m e uma região serrana, com altitude superior a 850 m.

O divisor topográfico da BH de SM inserido no município de Santa Teresa e o divisor topográfico da BH de SJ inserido no município de Afonso Cláudio fazem parte da região serrana do Espírito Santo, e sofrem efeitos das chuvas orográficas.

A gênese da chuva orográfica se configura num fluxo de vento úmido que ao transpor uma rugosidade do relevo, tem sua coluna de ar em elevação com perda de temperatura sem troca com o meio e gerando nebulosidade que, possivelmente se converterá em chuva até uma determinada altitude, na encosta ativa do processo (barlavento). Posteriormente à transposição da linha de cumeeira, o fluxo de ar agora descende, aquece e gera, a sotavento, uma atmosfera relativamente seca (fenômeno da sombra de chuva). (Ayoadé, 1988, APUD Milanesi, 2011, p.68).

Entende-se que a justificativa da concentração pluviométrica em algumas áreas das BH dos rios SM e SJ estão relacionadas com as chuvas orográficas ocorridas na região serrana do estado do Espírito Santo (figura 4-5). Segundo Sant'anna Neto (2005) apud Silva et al. (2011), os altos valores de chuvas se devem ao fato de essas porções se encontrarem nas partes mais elevadas do Estado, sujeitas à entrada de ventos alísios e de massa de ar quente e úmido de origem marítima que, sob forte influência da topografia, provoca a ocorrência de chuvas orográficas.

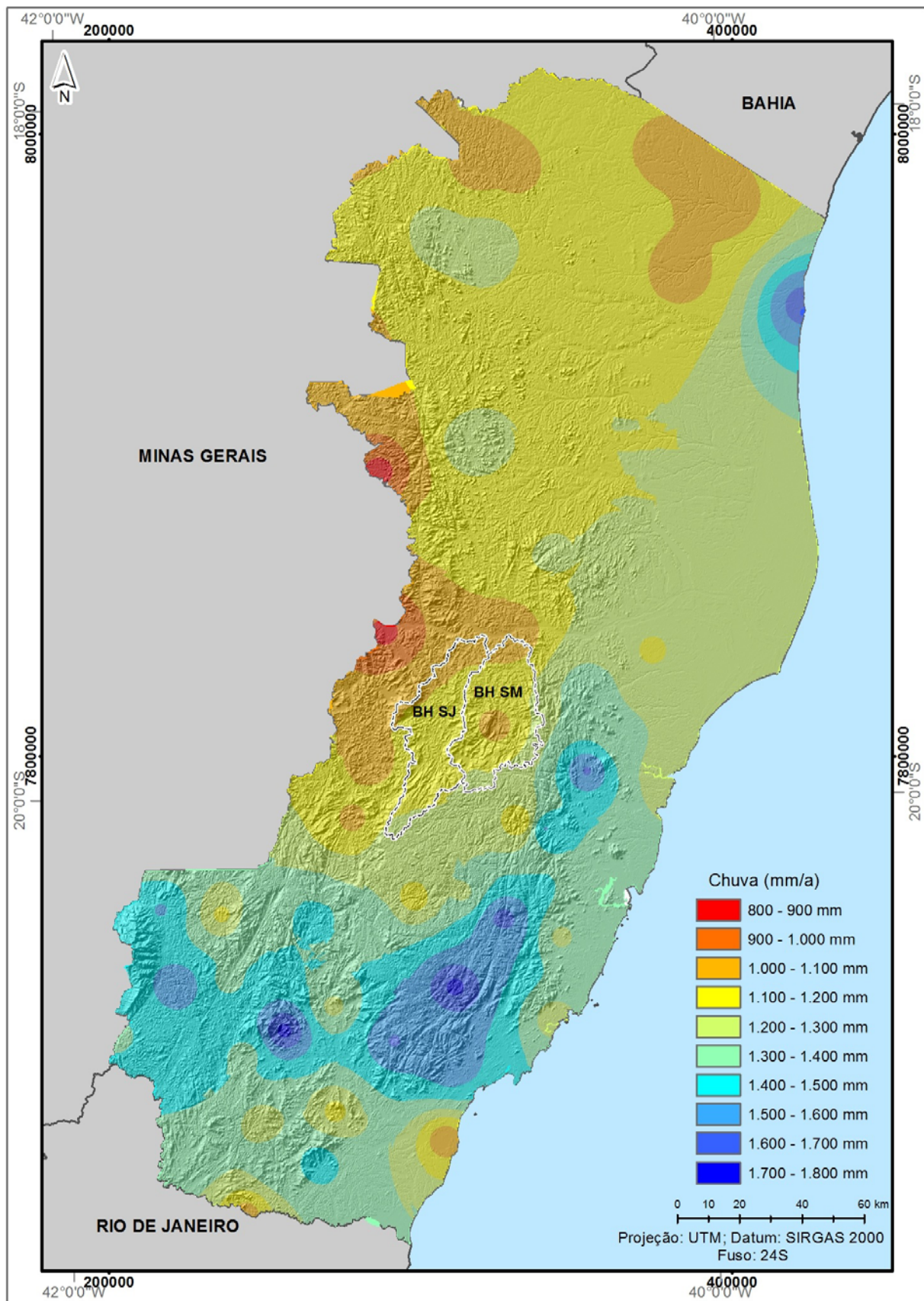


Figura 4-5: Distribuição de chuva no Estado do Espírito Santo.



Cabe observar que, a vulnerabilidade à erosão é maior em áreas onde o relevo mostra-se com encostas íngremes e clima úmido, sendo comum os problemas de instabilização de encostas, com a ocorrência de deslizamentos de terra (PARH-SANTA MARIA, 2010).

- **Solos**

As características de solo relacionam-se diretamente com a composição do relevo, litoestrutura e clima, que constituem fatores de pedogênese (ROSS, 1994). Os solos estão ligados aos processos erosivos, à qualidade e à quantidade de água superficial das bacias hidrográficas. A região em estudo apresenta ocorrência predominante de Latossolos, Argissolos, além de Cambissolos (PARH-SANTA MARIA, 2010).

A tabela 4-4 apresenta os valores, em área e percentagem das bacias hidrográficas, ocupada pelas diferentes classes de solos e a figura 4-6 apresenta mapa de solos da área de estudo.

**Tabela 4-4: Classificação pedológica.**

Pedologia	BH Santa Maria do rio Doce		BH Santa Joana	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (Km <sup>2</sup> )	(%)
Latossolo Vermelho-Amarelo	790,24	84,52	571,27	64,12
Argissolo Vermelho-Amarelo	14,85	1,59	15,53	1,74
Argissolo Vermelho	-	-	98,78	11,09
Cambissolo	55,71	5,96	153,21	17,20
Neossolo Litólico	74,2	7,94	52,21	5,86
Total	935	100	891	100

Os tipos de solos encontrados nas bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana, apresentados na tabela 4-4 e na figura 4-6, foram obtidos

através do GEOBASES, que foi elaborado a partir do levantamento de recursos naturais do projeto RADAMBRASIL (SANTOS et al., 1987). Cabe observar que o mapa de solos apresentado não possui grau de detalhamento apurado, por ter sido obtido a partir de levantamento de reconhecimento de solos em escala 1:250.000.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo são solos profundos onde predominam óxidos de ferro e de alumínio em sua composição. São acentuadamente drenados, ocorrendo principalmente nos planaltos dissecados e locais de relevo suave. Apresentam baixa fertilidade natural e exibem uma uniformidade no perfil (PARH-SANTA MARIA, 2010). Segundo Oliveira (2011), as condições de relevo e a baixa erodibilidade dificultam os processos erosivos dos Latossolos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo predominam nas bacias hidrográficas Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana. Esse solo corresponde a 84,52% e 64,12% das áreas totais das bacias, respectivamente. Nessas áreas, predominam declividades baixas e altitudes entre 40 a 500 metros.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo são solos de profundidade variável, os horizontes A, B e C são bastante diferenciados, sendo que o horizonte B apresenta maior teor de argila do que o horizonte A. Este acúmulo de argila no horizonte B torna os Argissolos menos permeáveis e mais propensos à erosão. Em regiões montanhosas é comum a presença de Argissolo com cascalhos e cascalhentos (OLIVEIRA, 2011).

As BH SM e SJ apresentam 1,59% e 12,73%, respectivamente, das suas áreas com tipo de solo Argissolo. Na BH SM, os Argissolos Vermelho-Amarelo predominam na desembocadura do rio Santa Maria do Rio Doce. Na BH SJ os Argissolos Vermelho-Amarelo predominam na desembocadura do rio Santa Joana, próximo às localidades de Itambé e Palmeira, além da sede do município de Itarana.

O Cambissolo compreende solos minerais, não hidromórficos, bem drenados, pouco profundos a profundos. Este tipo de solo apresenta restrições à exploração agrícola, pela ocorrência de minerais facilmente intemperizáveis e fragmentos da rocha matriz no perfil (PARH-SANTA MARIA, 2010). Os cambissolos são solos encontrados em relevos mais ondulados bem drenados e possuem alta propensão a erosão (OLIVEIRA, 2011).



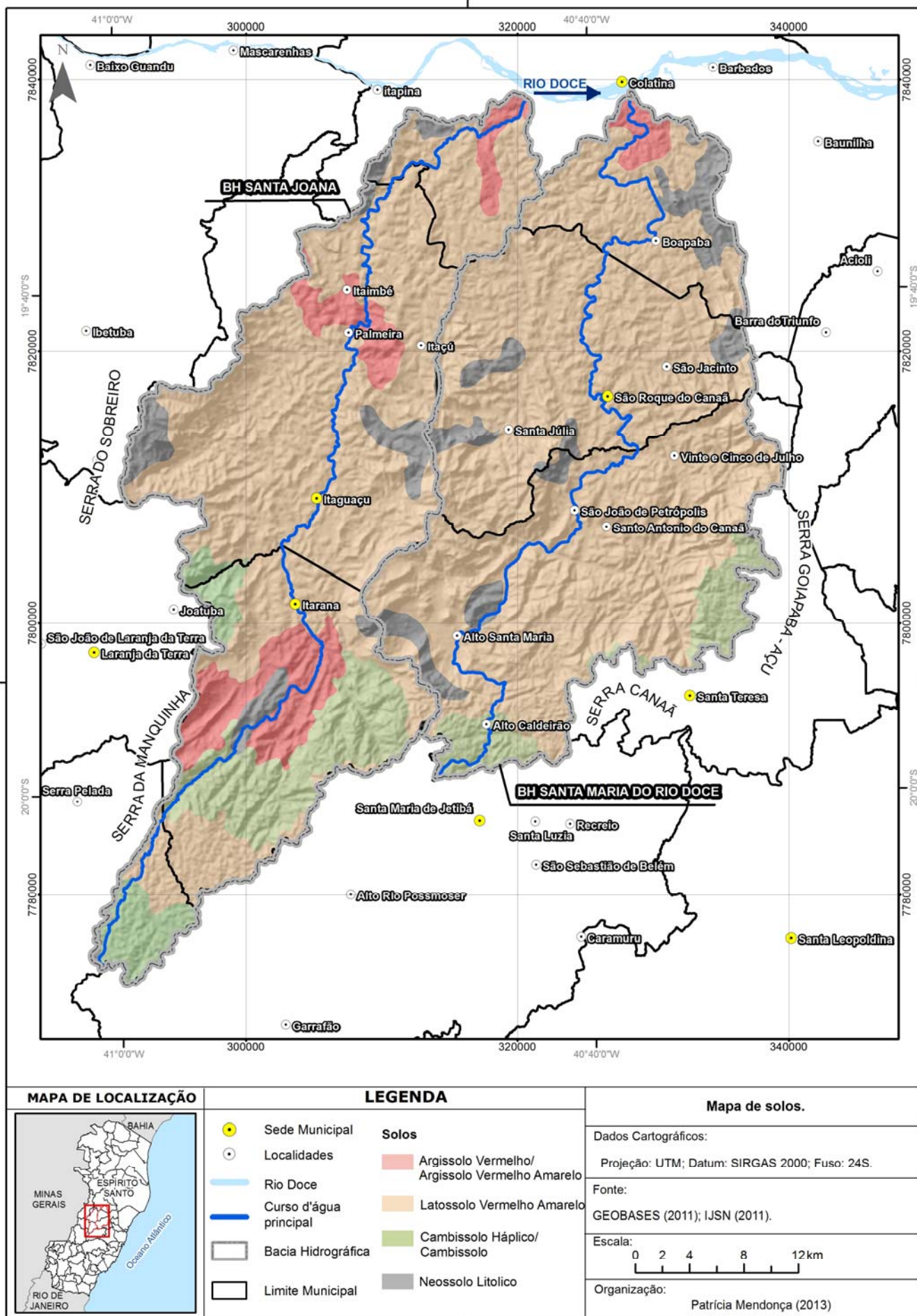


Figura 4-6: Mapa de solos da área de estudo.

Os Cambissolos são mais expressivos na bacia SJ, correspondendo a 17,20% de sua área. São encontrados nas áreas com altitudes superior a 500 metros, próximo à Serra da Manquinha e à localidade de Joatuba no município Laranja da Terra. Na bacia SM os Cambissolos ocupam 5,96% da área total. Está localizada na Serra Goaipaba-Açu e na localidade Alto Caldeirão no município de Santa Teresa.

Os Neossolos Litólicos são solos minerais desenvolvidos sobre gnaisses, rasos, desenvolvem-se em relevo forte ondulado a montanhoso e em muitos casos, com rochas expostas. Horizonte. Possuem alta suscetibilidade à erosão, visto a sua textura e relevo (OLIVEIRA, 2011). As bacias SM e SJ apresentam 7,94% e 5,87%, respectivamente, das suas áreas com solo do tipo Neossolo Litólico.

- **Uso e cobertura da terra**

A classificação do uso e cobertura da terra da área de estudo foi elaborada pela equipe do Grupo de Estudos e Ações em Recurso Hídricos (GEARH-UFES), através da digitalização de polígonos sobre ortofotomosaico, disponibilizada pelo IEMA em escala 1:15.000.

A tabela 4-5 apresenta áreas e percentuais correspondentes a cada classe de uso e cobertura da terra das BH SM e BH SJ.

**Tabela 4-5: Percentuais do uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas.**

Uso e Cobertura da Terra	BH Santa Maria do Rio Doce		BH Santa Joana	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
Água	2,63	0,28	4,14	0,46
Alagado	0,24	0,03	3,41	0,38
Área urbana	7,51	0,80	5,35	0,60
Cafeicultura	115,31	12,33	66,84	7,50
Cultivo Agrícola	76,51	8,18	92,41	10,37
Cobertura Florestal	214,42	22,93	211,16	23,70
Eucalipto	36,74	3,93	11,35	1,27

Ferrovia	0,50	0,05	-	-
Macega	80,09	8,56	79,96	8,97
Pastagem	330,41	35,34	365,35	41,00
Rocha	55,25	5,91	42,83	4,81
Rodovia	0,35	0,04	1,24	0,14
Solo Exposto	15,04	1,61	6,96	0,78
Total	935	100	891	100

As bacias hidrográficas foram subdivididas nas seguintes classes de uso e cobertura da terra: água, alagado, área urbana, cafeicultura, agricultura, cobertura vegetal, eucalipto, ferrovia, macega, pastagem, rocha, rodovia e solo exposto (figura 4-7).

A análise do mapa mostra que áreas de cobertura florestal, nas duas bacias, ocorrem predominantemente nas regiões altas, onde o relevo apresenta declividades mais acentuadas que dificultam práticas agrícolas. Segundo Ross (2005), as florestas naturais exercem grau de proteção muito forte sobre o ambiente.

As BH SM e SJ apresentam 22,93% e 23,70% de suas áreas cobertas por vegetação, respectivamente. As figuras 4-8 e 4-9 apresentam fotografias de áreas cobertas por florestas tiradas nas bacias em trabalho de campo realizado no dia 30 de maio de 2013, a partir de locais apresentando coordenadas 19°55'55"S - 40°48'12"O e 19°58'45"S - 40°44'35"O respectivamente.

Em ambas as bacias estudadas, o uso da terra que ocupa maior proporção é a pastagem, resultando em um elevado grau de antropização das bacias. A bacia do rio Santa Joana apresenta maior percentual da sua área de coberta por pastagem do que a bacia do rio Santa Maria do rio Doce (41% e 35,34% respectivamente).

As figuras 4-10 e 4-11 apresentam fotografias de áreas de pastagem, tiradas nas bacias Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana, em trabalho de campo realizado do dia 30 de maio de 2013, a partir de locais com coordenadas 19°38'06"S - 40°33'56"O e 19°49'13"S - 40°51'31"O, respectivamente.



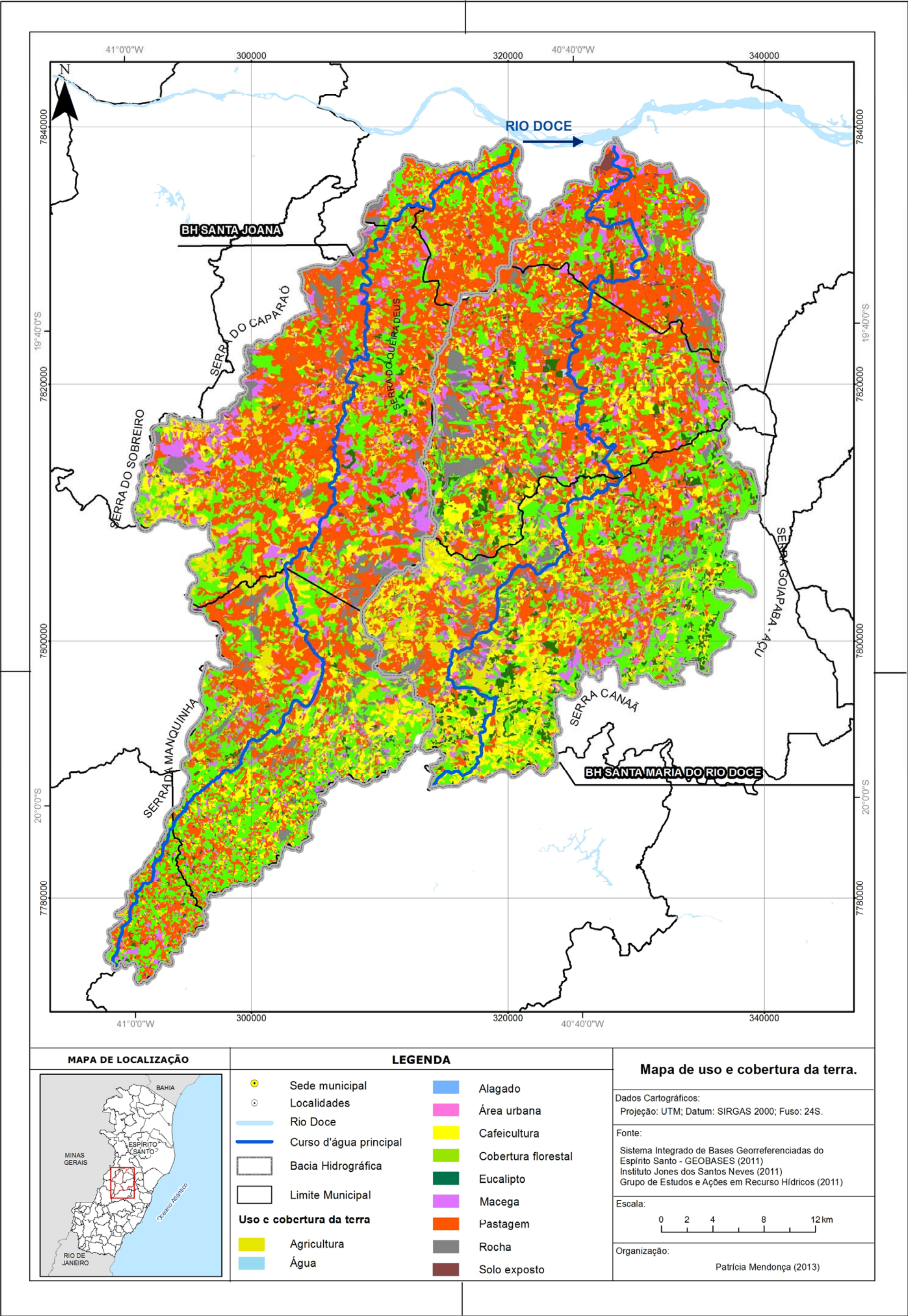


Figura 4-7:Mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo.





Figura 4-8: Vista de áreas de mata na bacia Santa Maria do rio Doce próximo à localidade de Santa Júlia (foto da autora em 05/ 2013).



Figura 4-9: Vista de áreas de mata na bacia Santa Joana próximo à localidade de Itaimbé (foto da autora em 05/ 2013).



Figura 4-10: Vista de áreas de pastagem em área de encosta, na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce, próximo à localidade de Boapaba (foto da autora em 05/2013).



Figura 4-11: Vista de áreas de pastagem em planície, na bacia do rio Santa Joana, próximo à localidade de Palmeira (foto da autora em 05/2013).

Com relação às áreas urbanas e de solo exposto, somadas, a bacia do rio Santa Maria do Rio Doce apresenta um percentual de 2,8% de sua área total, enquanto a bacia do rio Santa Joana apresenta 1,2%.

A percentagem da área total coberta por eucalipto foi maior para a bacia do rio Santa Maria do rio Doce (3,93%) do que para a bacia do rio Santa Joana (1,27%), provavelmente devido à sua menor distância de Aracruz, onde se localiza a fábrica de celulose da Fíbria.

A classe correspondente à agricultura considera todas as áreas ocupadas por culturas não permanentes (fruticultura, olericultura, horticultura e outros). O percentual de área de bacia coberto pela classe agricultura foi maior para a bacia do rio Santa Joana (10,37%) do que para a bacia do rio Santa Maria do rio Doce (8,18%). A área coberta por cafeicultura ocupa 12,33% da BH SM e 7,50% da BH SJ.

Cabe observar que o manejo indevido do solo nas práticas agrícolas agrava os problemas de erosão causando a perda da capacidade produtiva do solo e poluição de mananciais, pelo transporte por escoamento superficial de agrotóxicos associado ao solo.

As figuras 4-12 e 4-13 apresentam fotografias tiradas de áreas de cultivo agrícola localizadas nas bacias Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana, em trabalho de campo realizado no dia 30 de maio de 2013, a partir de pontos apresentando coordenadas 19°58'05"S - 40°08'16"O e 19°54'05"S - 40°51'21"O, respectivamente.





Figura 4-12: Vista de plantação de café em encosta íngreme na bacia Santa Maria do rio Doce, próximo à localidade de São Jacinto (foto da autora em 05/2013).



Figura 4-13: Vista de cultivo de hortaliça na bacia Santa Joana, próximo à localidade de Itaçu (foto da autora em 05/2013).



## 5 HIDROGEOMORFOLOGIA

Os estudos relacionados às drenagens fluviais possuem função relevante na geomorfologia e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem os principais responsáveis nos processos morfogenéticos mais ativos na esculturação da paisagem (ALCÂNTARA & AMORIM, 2005).

Esta etapa do trabalho envolveu a digitalização de dados vetoriais da rede de drenagem e das bacias hidrográficas, com base nos dados topográficos e de drenagem do IBGE, com o auxílio de ferramentas de geotecnologias. Foram elaboradas as mensurações morfométricas, perfis longitudinais dos canais principais e as curvas hipsográficas e de volume das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana.

- **Parâmetros morfométricos**

Com base na hidrografia e nas elevações superficiais, as mensurações morfométricas foram fundamentais para permitir a explicação das diferenças das formas do relevo e interpretar processos observados nas bacias hidrográficas estudadas.

A classificação hierárquica dos rios reflete o grau de ramificação de uma bacia. Segundo hierarquização fluvial de Strahler (1957), as bacias hidrográficas Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana são, respectivamente, de 6ª e 5ª ordem (figura 5-1).

A BH SM possui 604 canais fluviais, sendo 301 canais de primeira ordem, 139 canais de segunda ordem, 77 canais de terceira ordem, 36 canais de quarta ordem, 33 canais de quinta ordem e 18 canais de sexta ordem.

A BH SJ possui 540 canais fluviais, sendo 270 canais de primeira ordem, 126 canais de segunda ordem, 75 canais de terceira ordem, 45 canais de quarta ordem e 24 canais de quinta ordem.

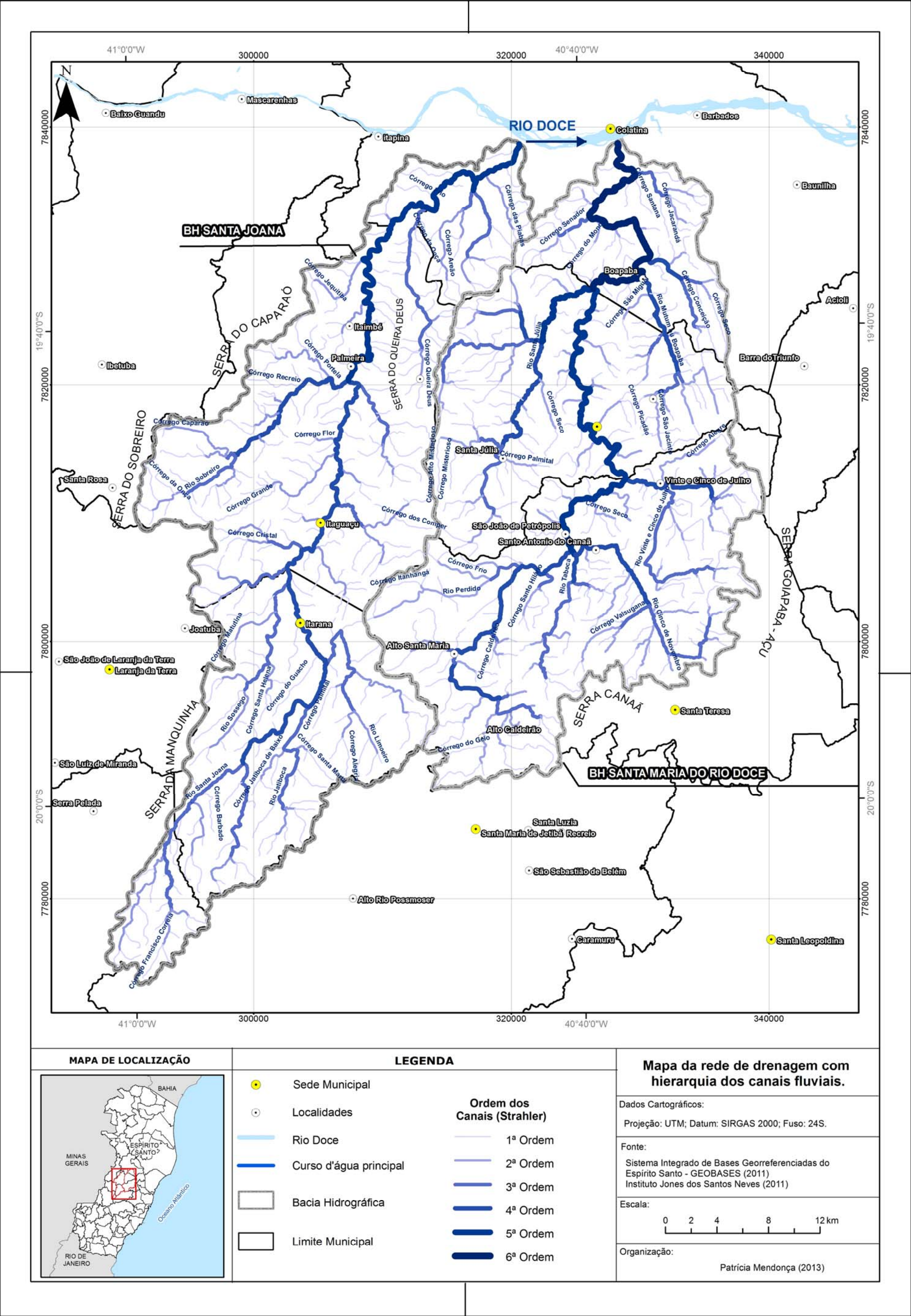


Figura 5-1: Mapa da rede de drenagem segundo hierarquia fluvial de Strahler (1952).

As tabelas 5-1, 5-2 e 5-3 apresentam respectivamente, os resultados relativos aos parâmetros lineares, areal e hipsométricos que foram apresentados no capítulo 2-5 (p.22 – 38) do presente trabalho. Nesta também são apresentadas as relações percentuais dos resultados dos parâmetros da BH SM em relação a BH SJ.

**Tabela 5-1: Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos lineares.**

<b>Análise</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>BH SM</b>	<b>BH SJ</b>	<b>Relação Bacias SM/SJ (%)</b>
Linear	L	km	93	100	-7
	u	°	6	5	0
	Lt	km	966,55	880,17	9,81
	Eps	m	483,68	506,15	-4,44
	Gcp	%	10,03	11,78	-14,86
	Is	%	44	29	51,72

Legenda: L = Comprimento do rio principal; u = Hierarquia da rede de drenagem; Lt = Comprimento total dos canais; Eps = Extensão média do escoamento superficial; Gcp = Gradiente do canal principal; Is = Índice de sinuosidade do canal principal.

O valor obtido para o comprimento do canal principal do rio Santa Maria do Rio Doce foi de 93 km, sendo que o comprimento total dos cursos d'água da bacia deste rio correspondeu a 966,55 km, distribuídos por 604 canais. Na bacia hidrográfica do rio Santa Joana o comprimento do canal principal foi de 100 km, sendo que o comprimento total dos cursos d'água da bacia correspondeu a 880,17 km distribuídos por 540 canais.

A extensão do percurso superficial (Eps) é uma estimativa da distância do local onde houve a chuva até o ponto mais próximo do leito de um trecho de drenagem. O gradiente do canal principal (Gcp) de um curso d'água indica a relação entre a cota altimétrica máxima e o comprimento do canal principal, sendo o resultado obtido em porcentagem. Na BH SM, a Eps obtida foi 483,68 m, e o Gcp correspondeu a 10,03%. Na BH SJ a Eps obtida foi 506,15 metros e o Gcp correspondeu a 11,78%.

O Eps revela que as águas precipitadas na BH SM percorrem um trajeto menor até atingir o leito de um curso de água qualquer, contribuindo mais rapidamente para o

aumento do volume de água e carreamento de sedimentos da bacia hidrográfica para os canais receptores em relação a BH SJ. O Eps calculado para a BH SM é inferior ao correspondente ao da BH SJ em 4,44%.

Quanto menor for o valor de Gcp maior a chance de deposição de sedimento no interior da bacia hidrográfica. O Gcp calculado para a bacia do rio Santa Maria do Rio Doce é inferior em 14,86% ao obtido para a bacia do rio Santa Joana.

O rio Santa Maria do Rio Doce apresentou 44% de sinuosidade, podendo ser considerado sinuoso, por isso possui propensão à deposição de sedimento, inundações de margens e baixas velocidades de escoamento em sua calha. O rio Santa Joana é classificado como reto, tendo 29% de sinuosidade, que indica possuir maiores velocidades e, conseqüentemente, maior propensão ao transporte de sedimento.

Segundo análise areal das bacias hidrográficas (tabela 5-2) a BH SM apresenta área de drenagem igual a 935 km<sup>2</sup> e perímetro de 180 quilômetros. A BH SJ apresenta área de 891 km<sup>2</sup> e 220 quilômetros de perímetro.

**Tabela 5-2: Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos areal.**

<b>Análise</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>BH SM</b>	<b>BH SJ</b>	<b>Relação Bacias SM/SJ (%)</b>
Areal	A	km <sup>2</sup>	935	891	4,49
	P	km	180	220	-18,18
	Dd	km/km <sup>2</sup>	1,03	0,99	4,04
	Cm	m <sup>2</sup> /m	970,87	1010,10	-3,88
	Ic	-	0,36	0,23	56,52
	Kf	-	0,35	0,18	94,44

Legenda: A = Área de drenagem da bacia hidrográfica; P = Perímetro da bacia hidrográfica; Dd = Densidade de drenagem; Cm = Coeficiente de manutenção; Ic = Índice de circularidade; Kf = Fator de forma.

Segundo Cunha (1995), a densidade de drenagem (Dd) é um dos parâmetros adotados para a previsão da produção de sedimento. A Dd possui relação direta com o potencial de transferência de sedimentos, uma vez que, quanto maior a

densidade de drenagem, menor a distância percorrida pela partícula deslocada por erosão do terreno na vertente até o curso d'água. O resultado obtido para BH SM foi superior em 4,04% em relação da BH SJ. Os resultados de Dd das bacias foram 1,03 km/km<sup>2</sup> e 0,99 km/km<sup>2</sup>, respectivamente.

O coeficiente de manutenção (Cm) é um índice que visa calcular a área mínima que a bacia precisa dispor para a manutenção de um metro de canal fluvial. Segundo Christofolletti (1969), esse índice que tem ligação com os canais de primeira ordem, que são os fornecedores da água que mantém o canal principal.

O valor de Cm da BH SM corresponde a 970,87 m<sup>2</sup>/m e o da BH SJ 1010,1 m<sup>2</sup>/m, ou seja, a BH SM precisa que uma área 3,88% menor que a BH SJ para formar um canal de fluxo perene.

O índice de circularidade (Ic) e o fator de forma (Kf) são parâmetros de análise areal que visa à identificar se o formato da bacia hidrográfica é mais circular ou alongado. O Ic propõe a relação entre o perímetro da bacia dividido pelo perímetro do círculo de mesma área da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1969) e o parâmetro Kf relaciona a forma da bacia com a de um retângulo.

O Ic da BH SM corresponde a 0,36 e o da BH SJ 0,23 indicando que a primeira bacia apresenta forma mais próxima da circular devido ao resultado do Ic da primeira ser mais próximo de um (1). Os valores de Kf das BH SM e BH SJ corresponde a 0,35 e 0,18, respectivamente, indicando que a BH SM possui forma mais arredondada e a BH SJ possui forma mais alongada.

Saliente-se que bacias com forma mais circular apresentam maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal, o que a torna mais sujeita às enchentes do que outra bacia com forma alongada.

Em relação às variáveis hipsométrica (tabela 5-3), as altitudes mínima - máxima obtidas para as bacias Santa Maria do rio Doce e Santa Joana foram 40 m – 1011 m e 40 m – 1340 m, respectivamente. A amplitude altimétrica correspondente à bacia hidrográfica do rio Santa Joana, 1300 m foi superior à da bacia do rio Santa Maria do



rio Doce, 971 m.

**Tabela 5-3: Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos hipsográficos.**

Análise	Parâmetro	Unidade	BH SM	BH SJ	Relação Bacias SM/SJ (%)
Hipsométrica	Hmax	m	1011	1340	0
	Hmin	m	40	40	0
	$\Delta H$	m	971	1300	-25,91
	Rr	-	0,019	0,018	5,5
	Ir	-	1000,13	1287	-22,30

Legenda: Hmax = Altitude máxima da bacia hidrográfica; Hmin = Altitude mínima da bacia hidrográfica;  $\Delta H$  = Amplitude topográfica da bacia hidrográfica; Rr = Relação de relevo; Ir = Índice de rugosidade.

A relação de relevo (Rr) mede a declividade geral de uma bacia de drenagem, que é um indicador da intensidade de erosão operando nas vertentes da bacia (ROSSI & PFEIFER,1999). Os resultados de Rr das bacias foram próximas. A bacia Santa Maria do rio Doce corresponde a 0,019 enquanto que o da bacia Santa Joana corresponde a 0,018. O valor de relação de relevo calculado para a bacia Santa Joana é 5,5% inferior ao da bacia Santa Maria do rio Doce.

O índice de rugosidade (Ir) calculado para a bacia Santa Joana é 1287, enquanto que o correspondente à bacia Santa Maria do Rio Doce é 1000. O valor do índice de rugosidade correspondente à da bacia do rio Santa Joana é 22,3% superior ao da bacia Santa Maria do Rio Doce, indicando que a bacia do rio SJ possui vertentes mais altas e com maiores extensões que a bacia do rio SM.

Os resultados relativos ao Ir indicam que a bacia do rio Santa Joana possui maior dissecação de relevo. Desta forma, pode-se inferir que esta bacia esteve sujeita a maiores ações erosivas enquanto que, atualmente, a bacia do rio Santa Maria do rio Doce está mais vulnerável à mobilização de sedimento em direção aos canais fluviais.

- **Perfil longitudinal dos canais principais**

A representação gráfica das variações da declividade de um canal desde a sua nascente até a foz corresponde ao perfil longitudinal de um rio. Em alguns trechos dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana foram aplicados o parâmetro RDEs para representar os perfis longitudinais dos rios de forma quantitativa. Os trechos foram escolhidos conforme padrão de declividades encontrado no perfil longitudinal traçado. Os trechos dos rios estão apresentados na figura 5-2.

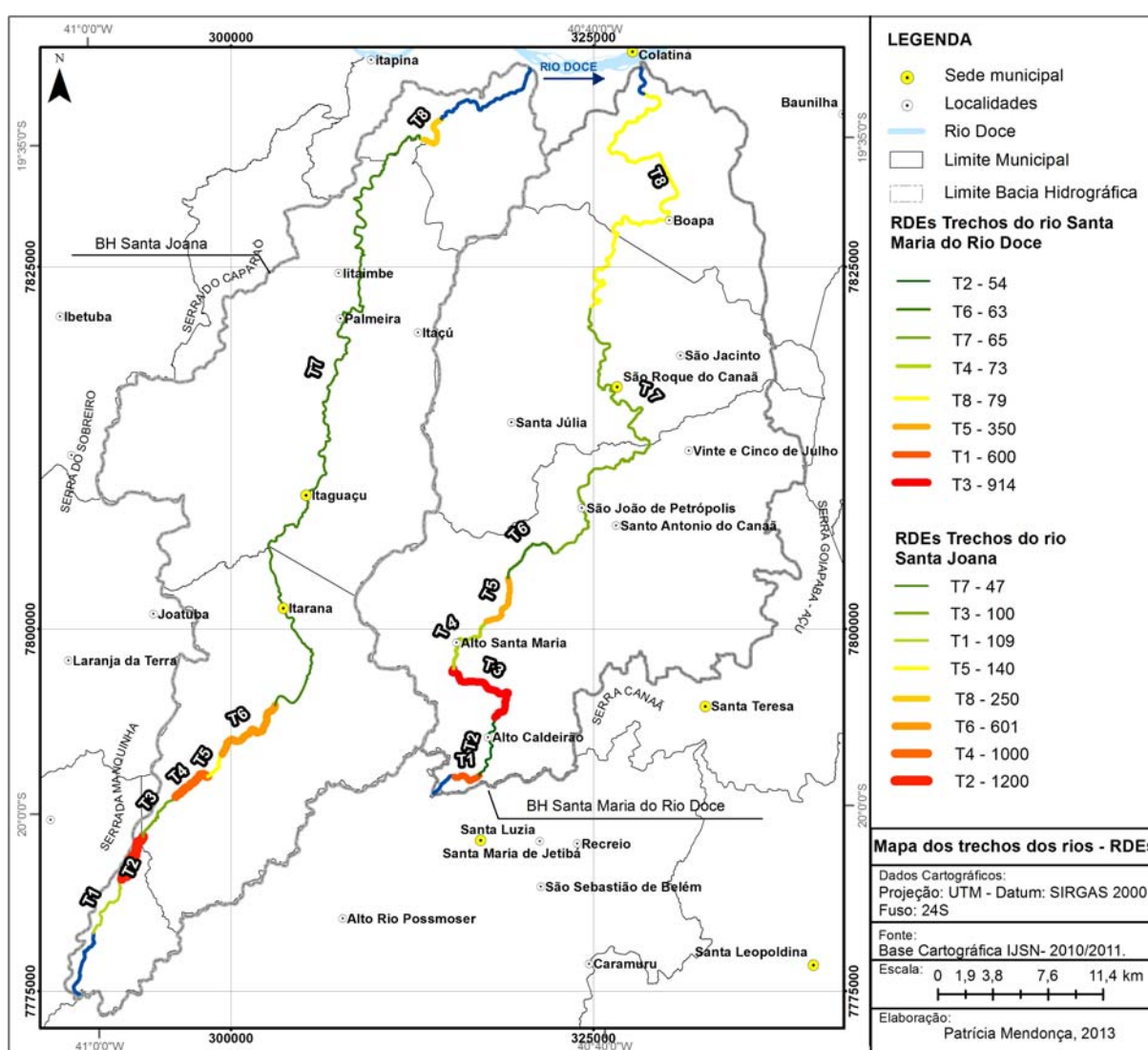


Figura 5-2: Distribuição dos valores de ao longo dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana RDEs.

A figura 5-3 representa o perfil longitudinal traçado para o curso d'água do rio Santa Maria do Rio Doce. O eixo X equivale à distância da nascente do curso d'água (zero) até a desembocadura no rio Doce após o rio Santa Maria de o Rio Doce percorrer 93 quilômetros. O eixo Y equivale às altitudes do curso d'água.

Na mesma figura, a barra em cor vinho representa os resultados de RDEs em oito trechos (T1 – T8) do rio.

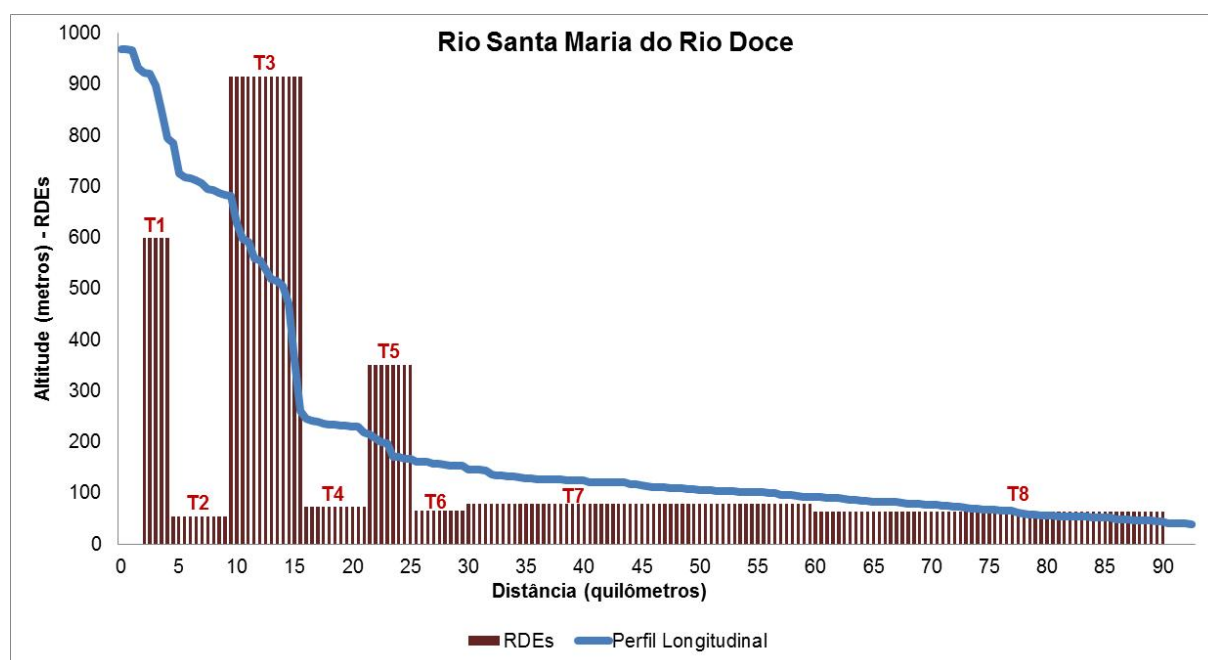


Figura 5-3: Perfil longitudinal do rio Santa Maria do Rio Doce e RDEs dos segmentos analisados.

As altitudes da nascente e da desembocadura do rio Santa Maria do Rio Doce são 971 e 40 metros, em relação ao nível do mar, respectivamente. Os valores de RDE dos trechos do rio variam entre 54 e 914. O perfil longitudinal do rio possui variação mais pronunciada de cotas altimétricas (aproximadamente 800 metros) nos 25 quilômetros iniciais. Entre o vigésimo quinto quilômetro até a desembocadura no rio Doce, a variação altimétrica é de aproximadamente 128 metros.

Observam-se rupturas significativas em seu perfil longitudinal até o trecho 6. Os trechos do rio Santa Maria do Rio Doce T1, T3 e T5 obtiveram maiores resultados de RDEs, correspondente a 600, 914 e 350, respectivamente, indicando que nesses



trechos o rio flui sobre rochas mais resistentes e possui alta capacidade de transportar carga sedimentar. Os segmentos T2, T4, T6 e T7 obtiveram menores valores de RDEs, correspondente a 54, 73, 65 e 90, respectivamente, indicando que nesses trechos o rio percorre substrato macio.

A figura 5-4 apresenta imagem correspondente à área situada no terceiro quilômetro do rio SM, inserido no trecho T1 que possui alto valor de RDEs.



Figura 5-4: Imagem de satélite de trecho no terceiro quilômetro do rio Santa Maria do Rio Doce com queda d'água e áreas de substrato rochoso (Imagem Google Earth, 2009).

A figura 5-5 apresenta imagem correspondente à área situada no oitavo quilômetro do rio SM, inserido no segmento T2 que possui baixo valor de RDEs. A figura 5-5 apresenta imagem situada próximo à afluição do rio Santa Maria do rio Doce com o rio Doce na área urbana do município de Colatina, inserido no trecho T8 que possui baixo valor de RDEs.



Figura 5-5: Vista do rio Santa Maria do Rio Doce. Observa-se solo exposto próximo a margem esquerda do rio, fonte potencial de sedimento pro curso d'água (foto da autora em 05/2013).



Figura 5-6: Imagem de satélite do trecho próximo à afluência do rio Santa Maria do Rio Doce (em azul) ao rio Doce (fonte: Google Earth, 2011).

A figura 5-7 representa o perfil longitudinal traçado para o curso d'água do rio Santa Joana em linha de cor azul. O eixo X equivale à distância da nascente do curso d'água (zero) até a desembocadura no rio Doce após o rio Joana percorrer 98 quilômetros. O eixo Y equivale às altitudes do curso d'água.

Na mesma figura, a barra em cor vinho representa os resultados de RDEs em sete segmentos (T1 - T7) do rio.

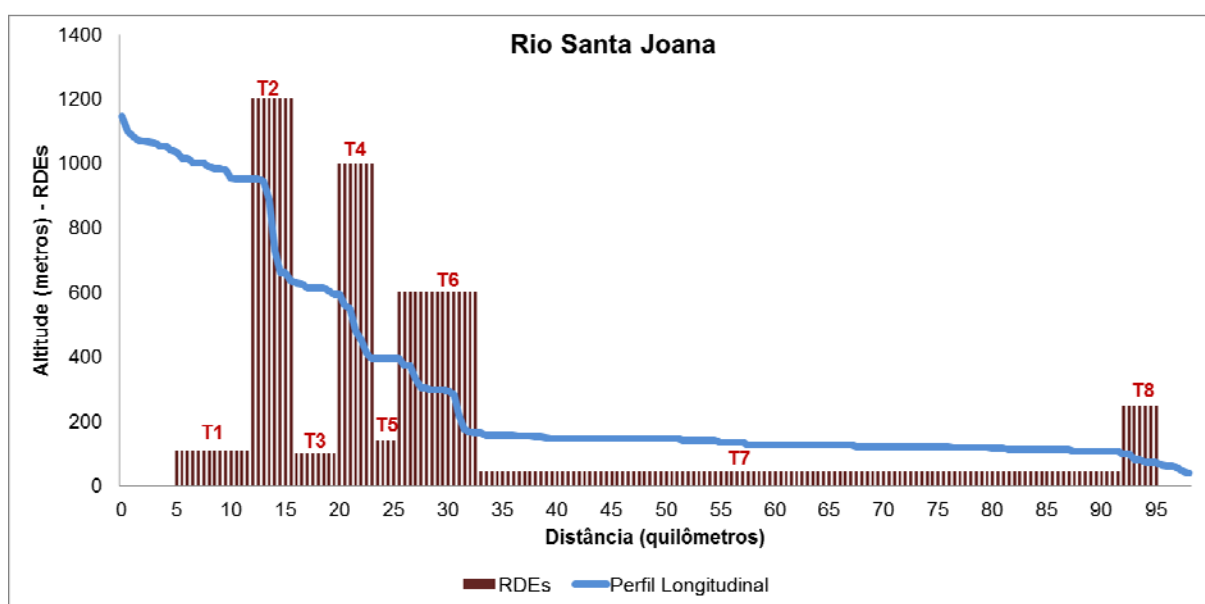


Figura 5-7: Perfil longitudinal do rio Santa Joana e RDE dos trechos analisados.

As altitudes da nascente e da desembocadura do rio Santa Joana são 1130 e 40 metros, em relação ao nível do mar, respectivamente. O perfil longitudinal do rio possui variação mais pronunciada de cotas altimétricas (aproximadamente 780 metros) entre os quilômetros 13 e 32. A partir do ponto distante 32 quilômetros da nascente, até a desembocadura no rio Doce, a variação altimétrica é de aproximadamente 127 metros.

Observam-se rupturas significativas em seu perfil longitudinal até o trecho 6. Os trechos do rio Santa Joana T2, T4 e T6 obtiveram maiores resultados de RDEs, correspondente a 1200, 1000, 850, respectivamente, indicando que nesses segmentos o rio flui sobre rochas mais resistentes e possui alta capacidade de transportar carga sedimentar.



O trecho T8, no quilômetro 92, apresenta elevação do valor de RDE. A forma desse trecho apresentada na figura 5-2 indica a ocorrência de cotovelo de captura (*elbows of capture*), que correspondem a uma mudança brusca no curso de um rio numa curva de 90° e que são influenciados por fatores geológicos, aos quais o rio ajusta-se (SMALL, 1977 APUD OLIVEIRA, 2010).

Os segmentos T1, T3 e T5 e T7 obtiveram menores valores de RDEs, correspondentes a 109, 100 e 47, respectivamente, indicando que nesses trechos o rio percorre substrato mais macio.

Figura 5-8 apresenta imagem do rio Santa Joana em área com alto RDEs e a figura 5-9 apresenta imagem do rio em área com baixo valor de RDEs. A figura 5-10 apresenta imagem do rio em parte do trecho 8.



Figura 5-8: Imagem de satélite de corredeira d'água no rio Santa Joana no quilômetro 13 a 944 metros de altitude (fonte: Google Earth, 2009).



Figura 5-9: Vista do rio Santa Joana na cidade de Itaguaçu (foto da autora em 05/2013).



Figura 5-10: Corredeira no rio Santa Joana no trecho 8 (foto da autora em 05/2013).

A figura 5-11 apresenta os perfis longitudinais dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana e suas respectivas curvas de tendência exponencial.

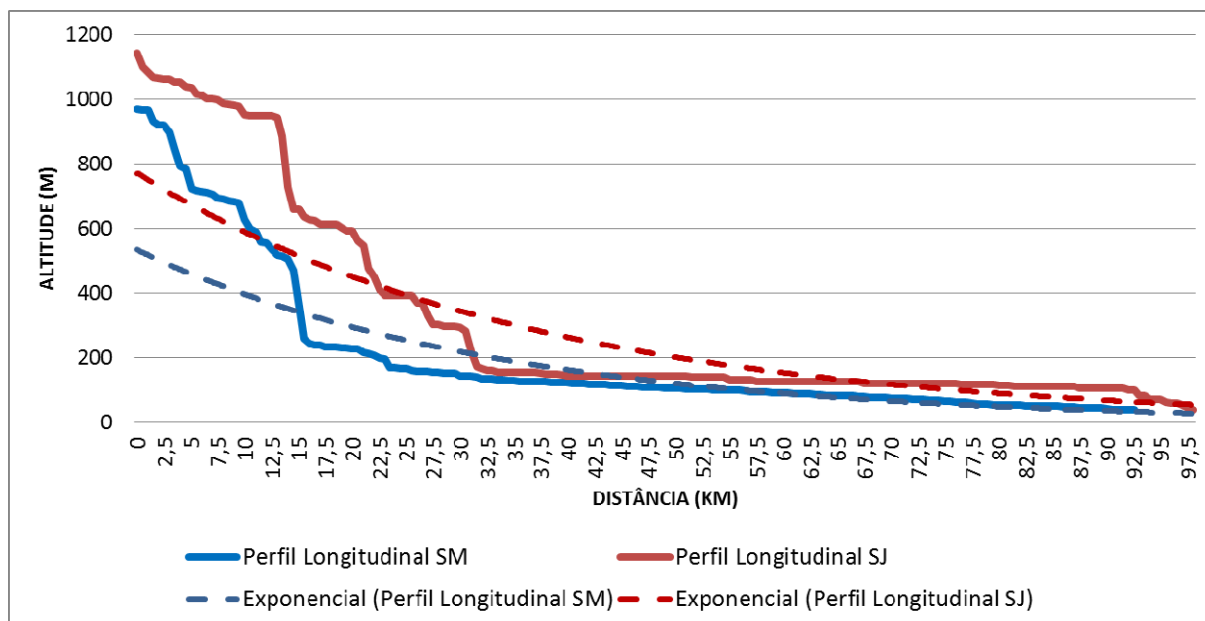


Figura 5-11: Perfis longitudinais dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana e suas respectivas curvas de tendência exponencial.

Observa-se que ao longo dos perfis longitudinais dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana predominam duas morfologias, a primeira apresenta uma sucessão de patamares escalonados e a segunda variação da declividade dos rios abaixo.

A curva de tendência exponencial do rio Santa Joana é mais convexa em relação a do rio Santa Maria do rio Doce, mostrando que o rio SM possui maior tendência a depositar sedimentos ao longo do curso que o rio SJ.

- **Análise comparativa das curvas hipsográficas e de volume**

O objetivo principal da obtenção de curvas hipsográficas e de volume foi possibilitar a comparação entre os potenciais de geração de sedimentos das bacias hidrográficas pesquisadas, por meio do levantamento das integrais hipsométrica (IH) e volumétricas (IV). A IH expressa o volume do material existente antes do início do processo erosivo na bacia e a IV expressa o material remanescente frente aos processos erosivos.

O conhecimento dos valores das diferenças entre as integrais (IH-IV) serve para auxiliar na análise do potencial erosivo das bacias hidrográficas. Estas diferenças

correspondem às relações de materiais erodidos em bacias hidrográficas.

As tabelas 5-11 e 5-12 mostram os valores de integrais hipsométricas, integrais volumétricas e diferenças (IH-IV), para intervalos de 100 metros de cotas altimétricas, calculados para as bacias hidrográficas estudadas.

**Tabela 5-4: Valores hipsométricos da BH SM**

<b>Cota</b>	<b>IH</b>	<b>IV</b>	<b>IH - IV</b>
50	0,050	0,049	0,001
100	0,098	0,089	0,009
200	0,081	0,066	0,015
300	0,056	0,041	0,016
400	0,042	0,026	0,016
500	0,032	0,017	0,015
600	0,024	0,011	0,014
700	0,017	0,006	0,011
800	0,011	0,003	0,008
900	0,005	0,001	0,004
1000	0,001	0,000	0,000
1050	0,050	0,049	0,001
<b>Total BH</b>	<b>0,417</b>	<b>0,308</b>	<b>0,109</b>

**Tabela 5-5: Valores hipsométricos da BH SJ.**

<b>Cota</b>	<b>IH</b>	<b>IV</b>	<b>IH-IV</b>
37	0,048	0,047	0,001
100	0,076	0,070	0,006
200	0,056	0,055	0,001
300	0,046	0,036	0,010
400	0,034	0,023	0,010
500	0,028	0,017	0,011
600	0,023	0,013	0,011
700	0,020	0,009	0,010
800	0,016	0,006	0,009
900	0,012	0,004	0,008
1000	0,008	0,002	0,006
1100	0,004	0,001	0,003
1200	0,001	0,000	0,001
1300	0,000	0,000	0,000
1340	0,048	0,047	0,001
<b>Total BH</b>	<b>0,372</b>	<b>0,283</b>	<b>0,089</b>



Foram grifadas, nas tabelas, as cotas nas quais ocorreram maiores valores de IH-IV, indicando as altitudes das bacias hidrográficas onde ocorrem maiores perdas de sedimento.

Na bacia hidrográfica Santa Maria do rio Doce o intervalo entre 200 a 700 metros de altitude apresentou maiores valores de IH-IV. Observa-se que esse intervalo altimétrico corresponde ao intervalo entre os quilômetros 7 e 23, a partir da nascente do rio, onde o perfil longitudinal do rio apresenta declividade mais acentuada.

Na bacia hidrográfica Santa Joana os maiores valores de IH-IV ocorreram no intervalo entre 300 a 900 metros de altitude. Cabe observar que esse intervalo altimétrico corresponde ao intervalo entre os quilômetros 13 e 32, a partir da nascente do rio, onde o perfil longitudinal do rio apresenta maiores declividades.

A figura 5-12 mostra as distribuições da Integral Hipsométrica (IH) e da Integral Volumétrica (IV) das bacias hidrográficas estudadas.

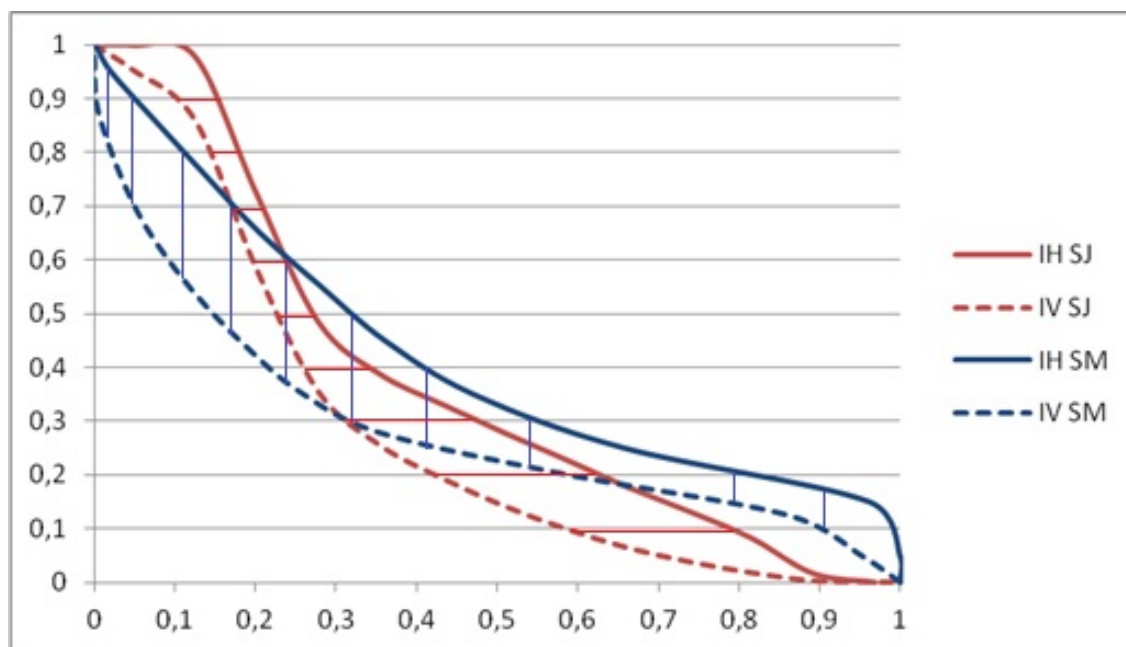


Figura 5-12: Curvas da Integral hipsométrica e de volume.



Os valores das integrais hipsométricas (IH) calculadas para as bacias hidrográficas Santa Maria do Rio Doce (SM) e Santa Joana (SJ) corresponderam a 0,417 e 0,372, respectivamente. Desta forma, a BH Santa Maria do Rio Doce apresentou valor de IH 12,1% superior ao correspondente da BH do rio Santa Joana.

Strahler (1952) indica que valores de IH entre 0,35 e 0,60 são representativos de bacias em estágio de equilíbrio, com médio potencial erosivo.

Os valores das integrais volumétricas (IV) calculadas para as bacias hidrográficas Santa Maria do Rio Doce (SM) e Santa Joana (SJ) corresponderam a 0,308 e 0,283, respectivamente. Desta forma, o Santa Maria apresentou valor de IH 8,8% superior ao correspondente ao Santa Joana.

O valor da relação IH-IV calculado para toda a bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce foi de 0,109, enquanto que o correspondente à Santa Joana foi 0,089. Desta forma, o Santa Maria apresentou valor de relação IH-IV 22,5% superior ao correspondente ao Santa Joana.

As curvas hipsográficas e volumétricas, as integrais hipsométricas e volumétricas e as relações IH-IV obtidas para as bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do rio Doce e Santa Joana indicam que a primeira apresenta maior potencial de geração de sedimentos.

## 6 HIDROSEDIMENTOLOGIA

O estudo hidrossedimentológico é referente ao monitoramento em ponto no rio Santa Maria do Rio Doce e no rio Santa Joana. A análise da pluviosidade ocorrida nos períodos de monitoramento hidrossedimentológico foi feita a partir de dados de chuva em três estações pluviométricas na BH SM e outras três na BH SJ (figura 6-1).

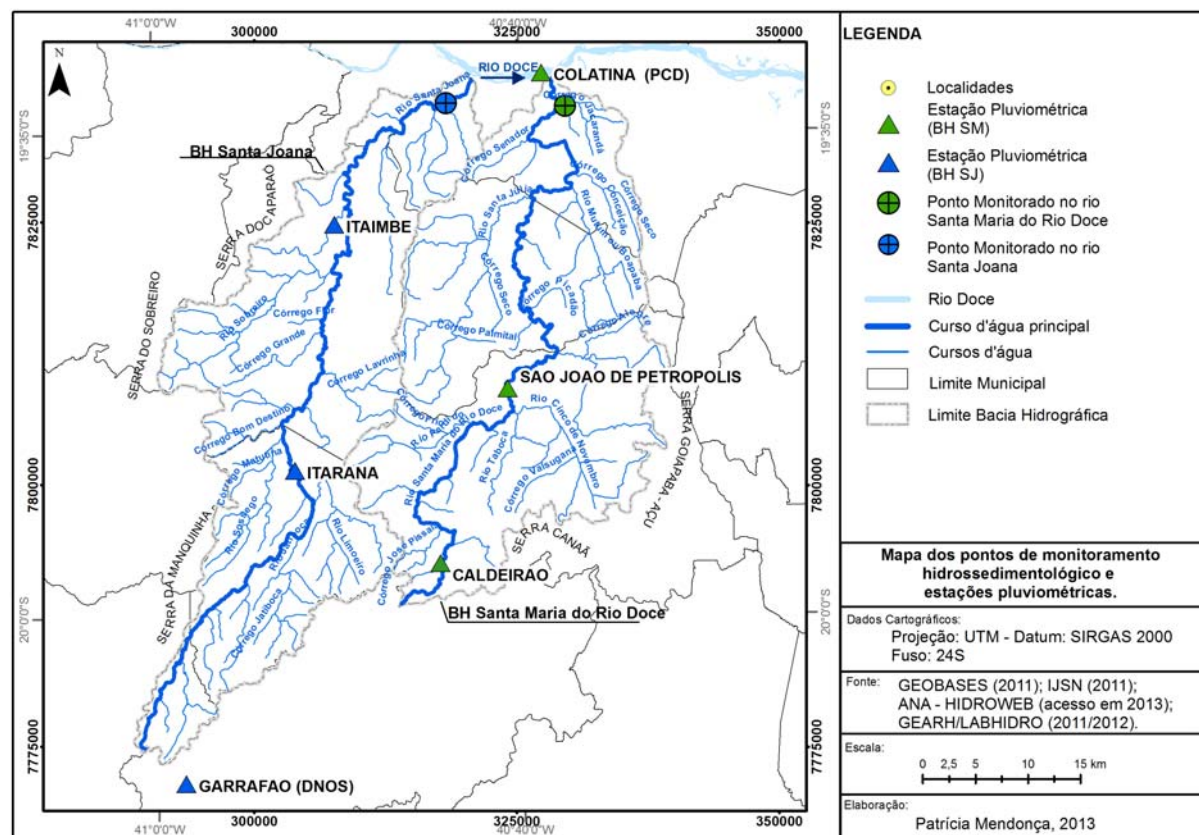


Figura 6-1: Mapa dos pontos de monitoramento hidrossedimentológico e estações pluviométricas.

A tabela 6-1 e as figuras 6-2 e 6-3 apresentam valores de descarga sólida em suspensão ( $Q_{ss}$ ) e produção específica de sedimento em suspensão ( $P_{ss}$ ) calculados a partir de dados de vazão ( $Q$ ) e de concentração de sedimento em suspensão ( $C_{ss}$ ) obtidas em cinco campanhas de campo nos pontos monitorados nos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana realizadas no projeto “Modelagem e Proposição de Alternativas para a Minimização de Produção, Transporte e

*Deposição de Sedimentos e Melhoria de Qualidade de Água no Sistema Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Doce” (ANEXO).*

**Tabela 6-1: Resultados dos parâmetros hidrosedimentológicos.**

Seção	Data	Campo	*Q (m <sup>3</sup> /s)	*Css (mg/l)	Qss (t/dia)	Pss (t/km <sup>2</sup> /dia)
<b>Santa Maria do Rio Doce</b>	19/03/2011	1	24,75	108,6	232,47	0,25
	24/08/2011	2	0,3	4,6	0,12	0,0001
	19/11/2011	3	4,55	40	15,74	0,017
	13/01/2012	4	35,19	124	377,40	0,40
	26/04/2012	5	1,48	2,2	0,28	0,0002
	<b>Média</b>	<b>-</b>	<b>13,25</b>	<b>55,88</b>	<b>125,20</b>	<b>0,13</b>
<b>Santa Joana</b>	19/03/2011	1	15,38	70,2	93,38	0,10
	12/08/2011	2	2,07	12	2,15	0,002
	19/11/2011	3	6,97	67,4	40,63	0,04
	13/01/2012	4	30,3	63	165,10	0,18
	27/04/2012	5	2,11	6,5	1,18	0,001
	<b>Média</b>	<b>-</b>	<b>11,37</b>	<b>48,82</b>	<b>60,49</b>	<b>0,07</b>

Legenda: Q = Vazão; Css = Concentração de sedimento em suspensão; Qss = Descarga sólida em suspensão; Pss = Produção específica de sedimento em suspensão.

(\*) Fonte de dados GEARH/LABHIDRO.

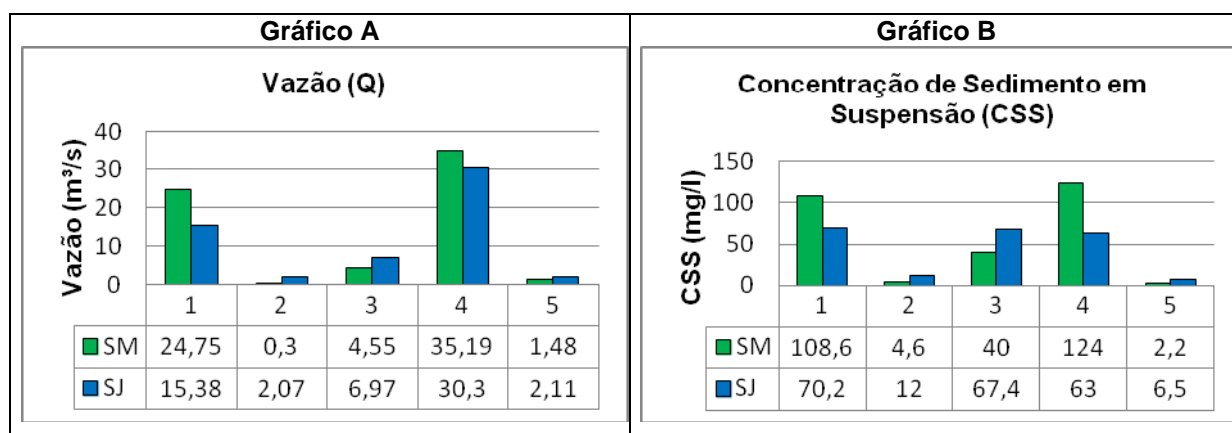


Figura 6-2: Resultados dos parâmetros hidrosedimentológico. Gráfico A corresponde Q do rio nos dias de campanha e Gráfico B a CSS. SM = Rio Santa Maria do Rio Doce, SJ = Rio Santa Joana.

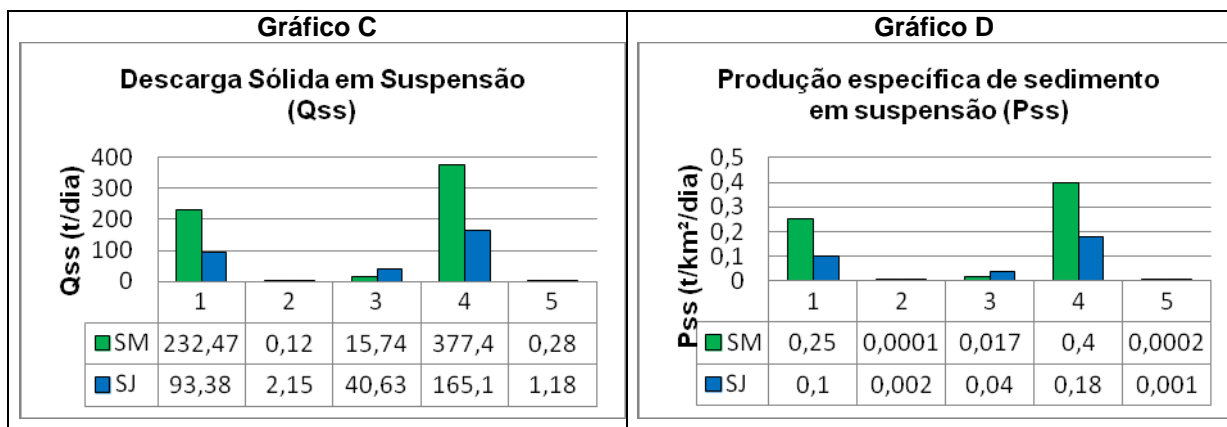


Figura 6-3: Resultados dos parâmetros hidrosedimentológico. Gráfico C corresponde ao valor de Qss nos dias de campanha e o gráfico D a Pss. SM = Rio Santa Maria do Rio Doce, SJ = Rio Santa Joana.

Cabe observar que os resultados hidrosedimentológicos se restringem a um curto período de monitoramento e que fatores como presença de barragens e caixa-seca ao longo dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana, além do uso da terra próximo aos pontos de monitoramento podem influenciar no resultado obtido na pesquisa do projeto realizado pelo GEARH/LABHIDRO.

Pode ser observado na Tabela 6-1 e nas figuras 6-2 e 6-3 que os valores de Q, C<sub>ss</sub>, Q<sub>ss</sub> e P<sub>ss</sub> registrados na primeira e na quarta campanhas, feitas em período chuvoso (março de 2011 e janeiro de 2013), foram muito superiores àqueles registrados na segunda, terceira e quinta campanha, referentes a período seco (agosto de 2011, outubro de 2011 e abril de 2012).

Cabe observar que os valores de Q, C<sub>ss</sub>, Q<sub>ss</sub> e P<sub>ss</sub>, registrados na bacia Santa Maria do rio Doce, no período chuvoso, primeira e quarta campanhas, foram superiores aos registrados na da bacia Santa Joana. E as maiores vazões para SM e SJ foram registradas na quarta campanha, enquanto que as menores vazões ocorreram na segunda campanha.

O maior valor de concentração de sólidos em suspensão (C<sub>ss</sub>) no ponto SM foi registrado na quarta campanha. No ponto SJ o maior valor de C<sub>ss</sub> foi observado na primeira campanha. Na primeira e na quarta campanhas, realizadas em períodos chuvosos, os valores de vazão (Q<sub>ss</sub>) no ponto SM foram superiores ao dobro das registradas no ponto SJ.

As médias dos resultados de Q, C<sub>ss</sub>, Q<sub>ss</sub> e P<sub>ss</sub>, das cinco campanhas de monitoramento, foram superior no rio SM em relação ao rio SJ.

O transporte de sedimentos em suspensão em seções transversais de cursos d'água depende de muitos fatores, incluindo características das bacias hidrográficas, incluindo uso e ocupação do solo, e precipitações pluviométricas.

Os resultados hidrossedimentológicos estão relacionados com as características climáticas prevalentes no período em que foram realizadas as campanhas (período seco ou chuvoso).

Para entender melhor essa relação, foram identificadas estações pluviométricas existentes nas bacias hidrográficas estudadas para análise de registros de precipitações pluviométricas visando o conhecimento dos índices pluviométricos na data e nos dias anteriores às campanhas sedimentométricas realizadas.

As estações foram pesquisadas no portal eletrônico da Agência Nacional de Águas (ANA), de acordo com os registros observados e as localizações. Na BH SM e em sua proximidade foram selecionadas as estações Caldeirão, São João de Petrópolis e Colatina. Na BH SJ e em sua proximidade foram selecionadas as estações Garrafão, Itarana e Itaimbe.

A figura 6-4 apresenta a média das estações pluviométricas em relação à média dos totais de chuvas acumuladas registrados em período de 1, 2 e 3 dias consecutivos até a data das campanhas.

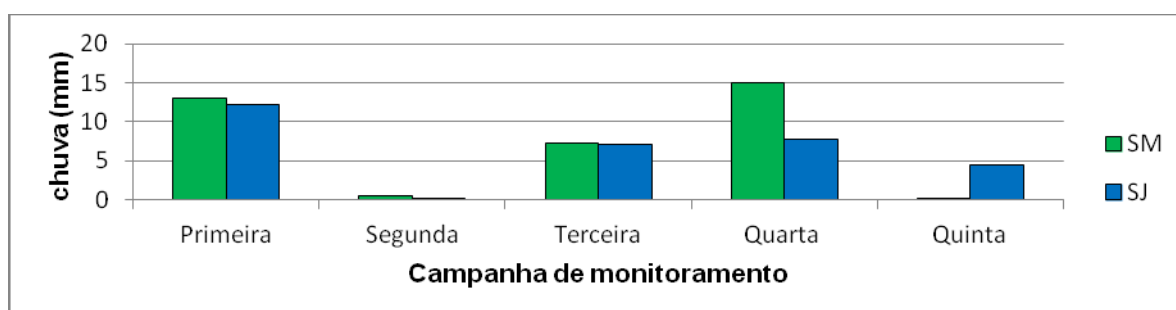


Figura 6-4: Média dos totais de chuvas precipitadas em 3 dias até as datas das campanhas.

Observa-se que os maiores acúmulos de precipitação em ambas as bacias hidrográficas ocorreram na primeira e quarta campanha. As médias de chuva correspondente às quatro primeiras campanhas foram superior na BH SM. A quinta campanha a BH SJ obteve maior média de chuva.

Por meio da correlação das precipitações, vazões, descarga sólida e produção específica de sedimento em suspensão de cada bacia hidrográfica pode-se observar que o material transportado é diretamente relacionado com a quantidade de precipitações e ocorrem, principalmente, no período de fortes precipitações.

Podem ser observado nos resultados relativos às concentrações e da produção específica de sólidos em suspensão que os maiores valores corresponderam aos períodos apresentando maiores precipitações nos dias das campanhas e nos dias antecedentes.

Os resultados de produção específica de sedimentos obtidos para a bacia do rio Santa Maria do Rio Doce em períodos chuvosos foram superiores ao dobro das correspondentes ao do rio Santa Joana.

Cabe observar que as análises de precipitações pluviométricas foram pontuais, em três pontos situados em cada bacia e que foram considerados três dias de precipitações nas bacias hidrográficas que podem ter variado muito significativamente espacial e temporalmente nas bacias dos rios Santa Maria e Santa Joana na data e nos dias anteriores às campanhas.

## 7. FRAGILIDADE À EROSÃO

Mapas de fragilidade resultam da delimitação de áreas de acordo com classes que agrupam diferentes graus de fragilidade à erosão. Estes mapas resultam da ponderação das classes de fragilidade em função das variáveis declividade, morfológica, pedológica e de uso e cobertura da terra. As características referentes às variáveis analisadas no presente estudo foram discutidas no item anterior do trabalho.

Para tornar possível a integração desses mapas, foi necessário fazer uma padronização das variáveis de maneira que ficassem em uma mesma escala de valores (1- muito baixa, 2- baixa, 3- moderada, 4- alta e 5- muito alta).

Os níveis de fragilidade estão diretamente relacionados aos aspectos do relevo naquilo que tange aos níveis de dissecação e gradiente de declividade. Indicadores como solos e uso e cobertura da terra estão ligados ao relevo e seus processos. Segundo Shneider (2011), as classes de fragilidade a erosão expõem a configuração atual e potencial da bacia hidrográfica por tratarem de avaliação das dinâmicas ocorrentes vinculadas às atividades antrópicas.

Para realizar o estudo da fragilidade à erosão recorreu-se à análise integrada dos elementos geomorfológicos, pedológicos, de pluviosidade e de uso e cobertura da terra, que foram correlacionados com os processos erosivos (figura 7-1). A análise de cada um destes elementos serviu para elaborar o diagnóstico que deu base para o estudo de inter-relações e análise integrada visando ao entendimento da dinâmica ambiental.

A variável declividade permite identificar as áreas da bacia hidrográfica propensa à fragilidade à erosão, pois o grau de inclinação do terreno exerce grande influência na velocidade do escoamento superficial. Em setores com altas declividades, os materiais do solo se tornam mais suscetíveis de remoção, principalmente nas vertentes desprovidas de vegetação. As bacias Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana apresentam maiores porcentagens de suas áreas com fragilidade forte e muito forte à erosão, segundo a variável declividade.

A variável de índice de dissecação do relevo relaciona-se com a fragilidade à erosão, pois os valores de amplitude do relevo, declividade e grau de dissecação influenciam na intensidade dos processos morfodinâmicos e na sujeição dos terrenos à erosão e ao movimento de massa (DANTAS; MEDINA, 2011). Na bacia hidrográfica Santa Maria do Rio Doce, a área apresentando fragilidade à erosão forte, segundo a variável Índice de Dissecação do Relevo correspondeu a 67,8%, enquanto na bacia Santa Joana correspondeu 59,6%.

Segundo Ross (1996), com base nas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais propõem-se classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais (ROSS, 1996). Nas bacias Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana predominam solos de baixa fragilidade, 84,5% e 64,3% das áreas, respectivamente, segundo a variável Pedológica.

A chuva é o principal agente ativo que intervém na erosão do solo. Há uma tendência de aumentar as perdas por erosão com o aumento das quantidades totais de chuva. Na porção da bacia Santa Maria do Rio Doce inserida no município de Santa Teresa existe área de muito alta fragilidade devida concentração de índice pluviométrico.

A carta de uso e cobertura do solo possibilita a análise da proteção dos solos pela cobertura vegetal. Nas bacias Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana o uso e cobertura da terra de baixa proteção do solo correspondem a 35% e 41% das áreas, respectivamente 24,6% da BH Santa Maria do Rio Doce e 19,1% da BH Santa Joana corresponde à moderada proteção do solo, segundo a variável analisada. As áreas de uso e cobertura da terra correspondente à alta proteção do solo ocupa 29,1% da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce e 29,2% da bacia do rio Santa Joana.



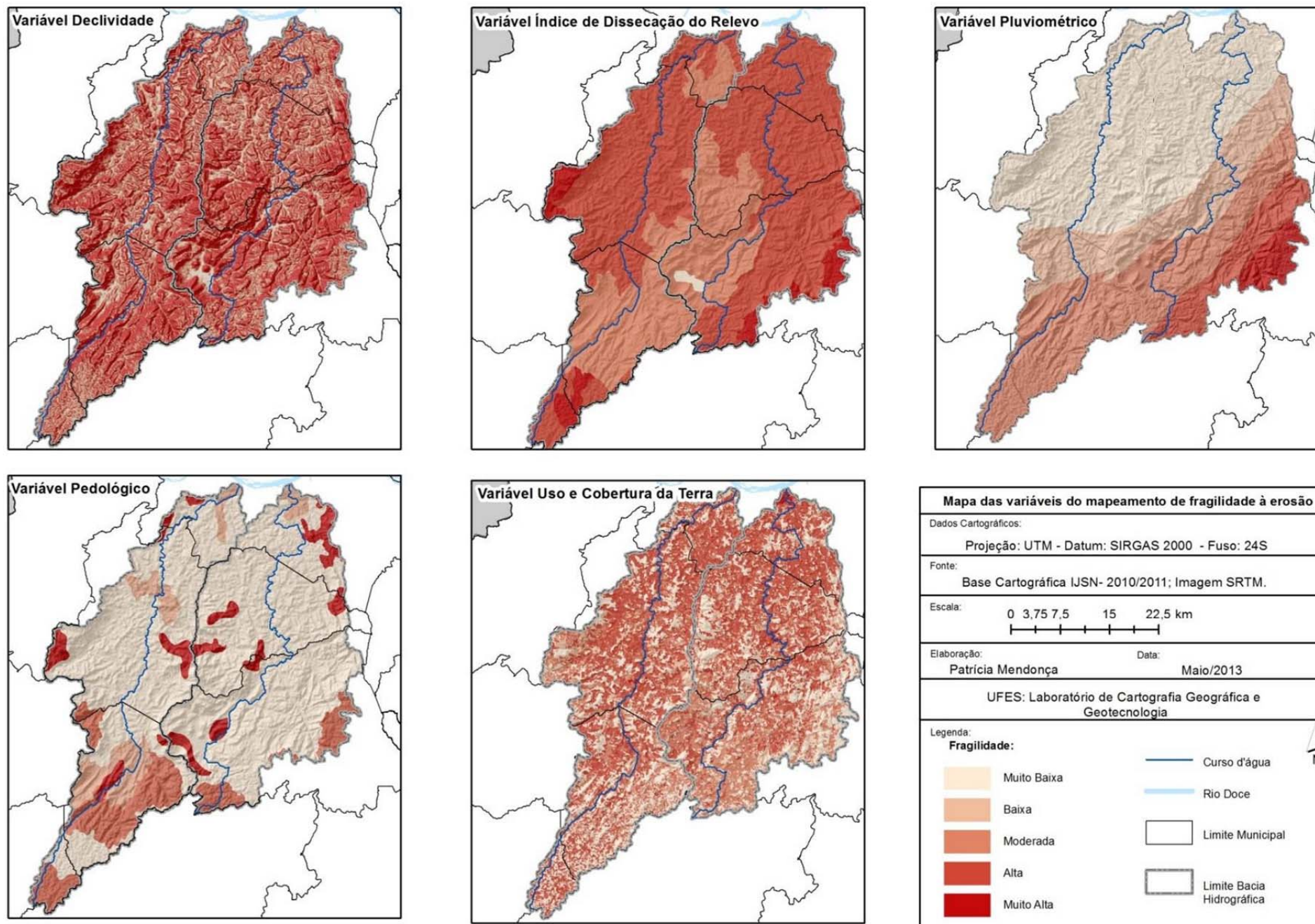


Figura 7-1: Mapa das variáveis da fragilidade a erosão conforme classes de fragilidade das bacias.

Cabe observar que a variável pedológica é a que mais contribui para que a fragilidade das bacias dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana não seja classificada como forte ou muito forte. A variável de precipitação pluviométrica contribuiu para aumentar a fragilidade à erosão da bacia do rio Santa Maria do Rio Doce em relação a bacia do rio Santa Joana.

A integração das informações das variáveis foi elaborada com o auxílio do *software ArcGIS*, com a ferramenta *raster calculator* calculou a média aritmética das variáveis, considerando seus pesos na escala de 1 a 5, em relação à fragilidade (figura 7-2 e 7-3).

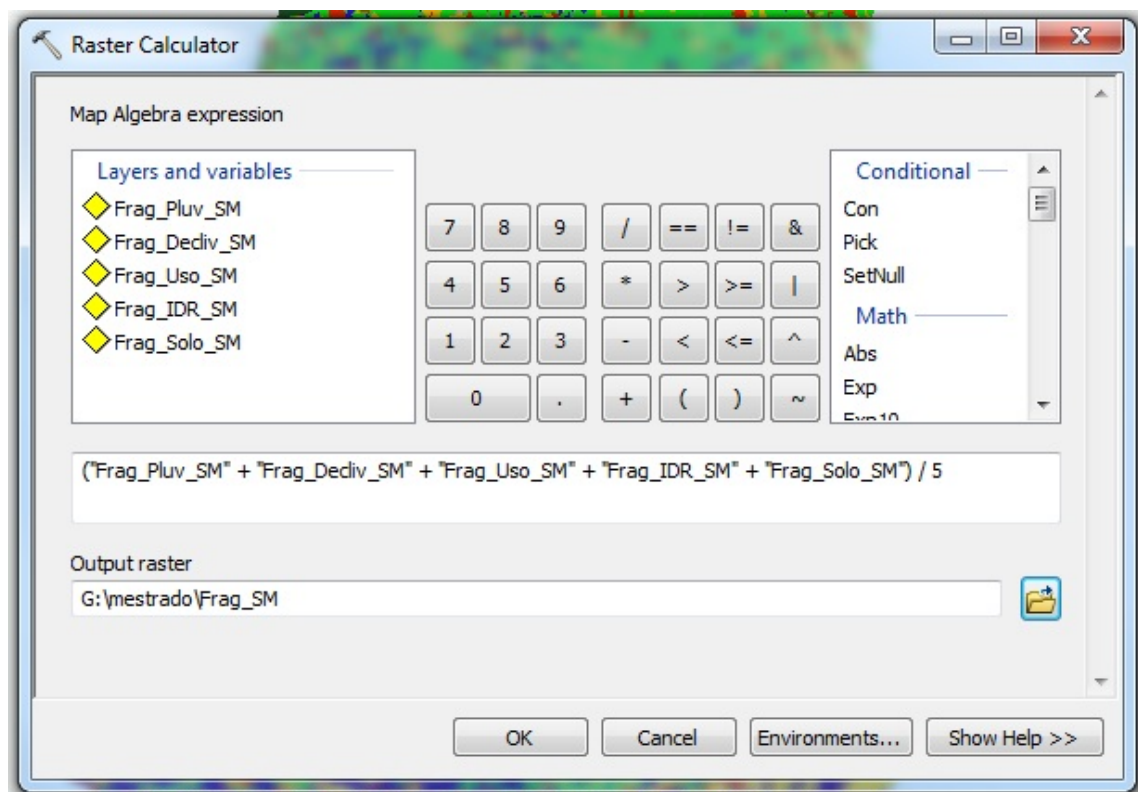


Figura 7-2: Equação de fragilidade à erosão da BHSM usando o *Raster Calculator*.  
Legenda: Frag\_Pluv\_SM = Fragilidade à erosão da variável pluviométrica da BHSM; Frag\_Dediv\_SM = Fragilidade à erosão da variável declividade da BHSM; Frag\_Uso\_SM = Fragilidade à erosão da variável uso e cobertura da terra da BHSM; Frag\_IDR\_SM = Fragilidade à erosão da variável índice de dissecação do relevo da terra da BHSM; Frag\_Solo\_SM = Fragilidade à erosão da variável pedológica da BHSM.

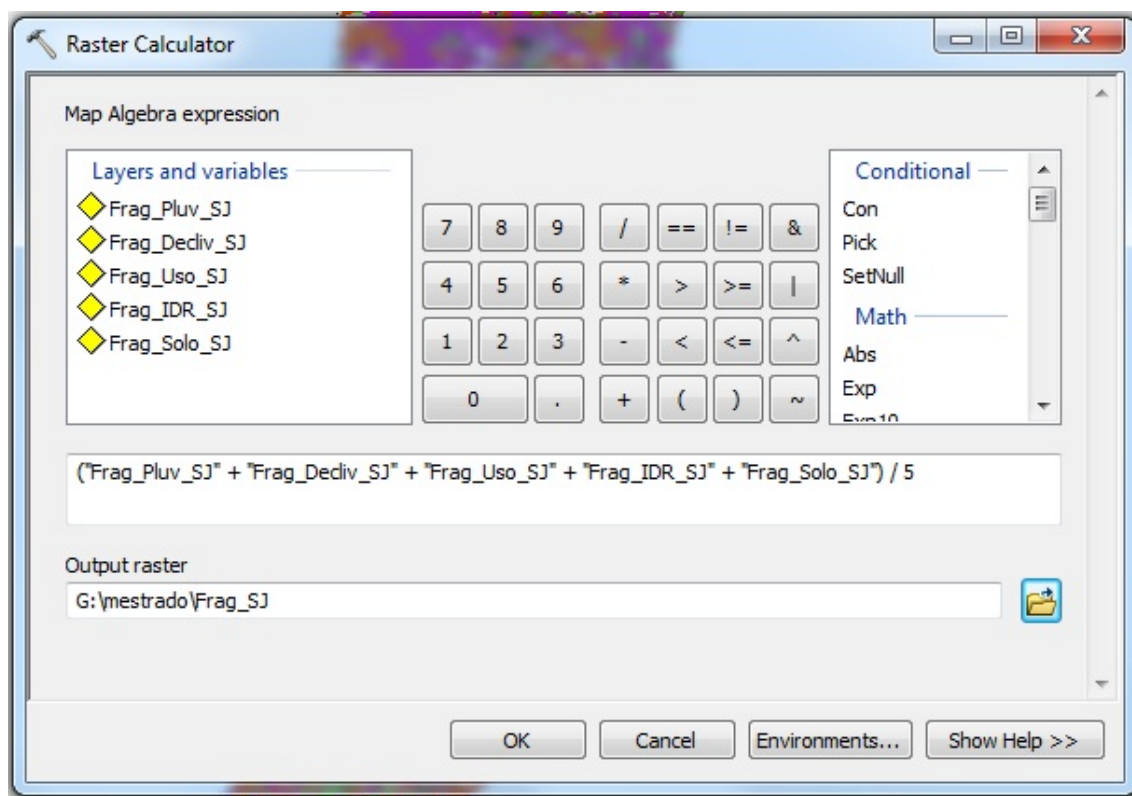


Figura 7-3: Equação de fragilidade à erosão da BHSJ usando o *Raster Calculator*.  
 Legenda: Frag\_Pluv\_SJ = Fragilidade à erosão da variável pluviométrica da BHSJ; Frag\_Dediv\_SJ = Fragilidade à erosão da variável declividade da BHSJ; Frag\_Uso\_SJ = Fragilidade à erosão da variável uso e cobertura da terra da BHSJ; Frag\_IDR\_SJ = Fragilidade à erosão da variável índice de dissecação do relevo da terra da BHSJ; Frag\_Solo\_SJ = Fragilidade à erosão da variável pedológica da BHSJ.

A tabela 7-1 apresenta a área e a proporção dos graus de fragilidade em relação à área total das bacias hidrográficas. A figura 7-4 apresenta o mapa de fragilidade à erosão das bacias Santa Maria do rio Doce e Santa Joana.

**Tabela 7-1: Classificação de fragilidade a erosão.**

Fragilidade	BH Santa Maria do rio Doce		BH Santa Joana	
	Área (km²)	(%)	Área (km²)	(%)
1 - Muito baixa	6,94	0,74	11,32	1,27
2 – Baixa	393,71	42,11	485,50	54,49
3 – Moderada	507,79	54,31	385,65	43,28
4 – Forte	26,92	2,84	8,54	0,96
5 - Muito forte	-	-	-	-
Total	935	100	891	100



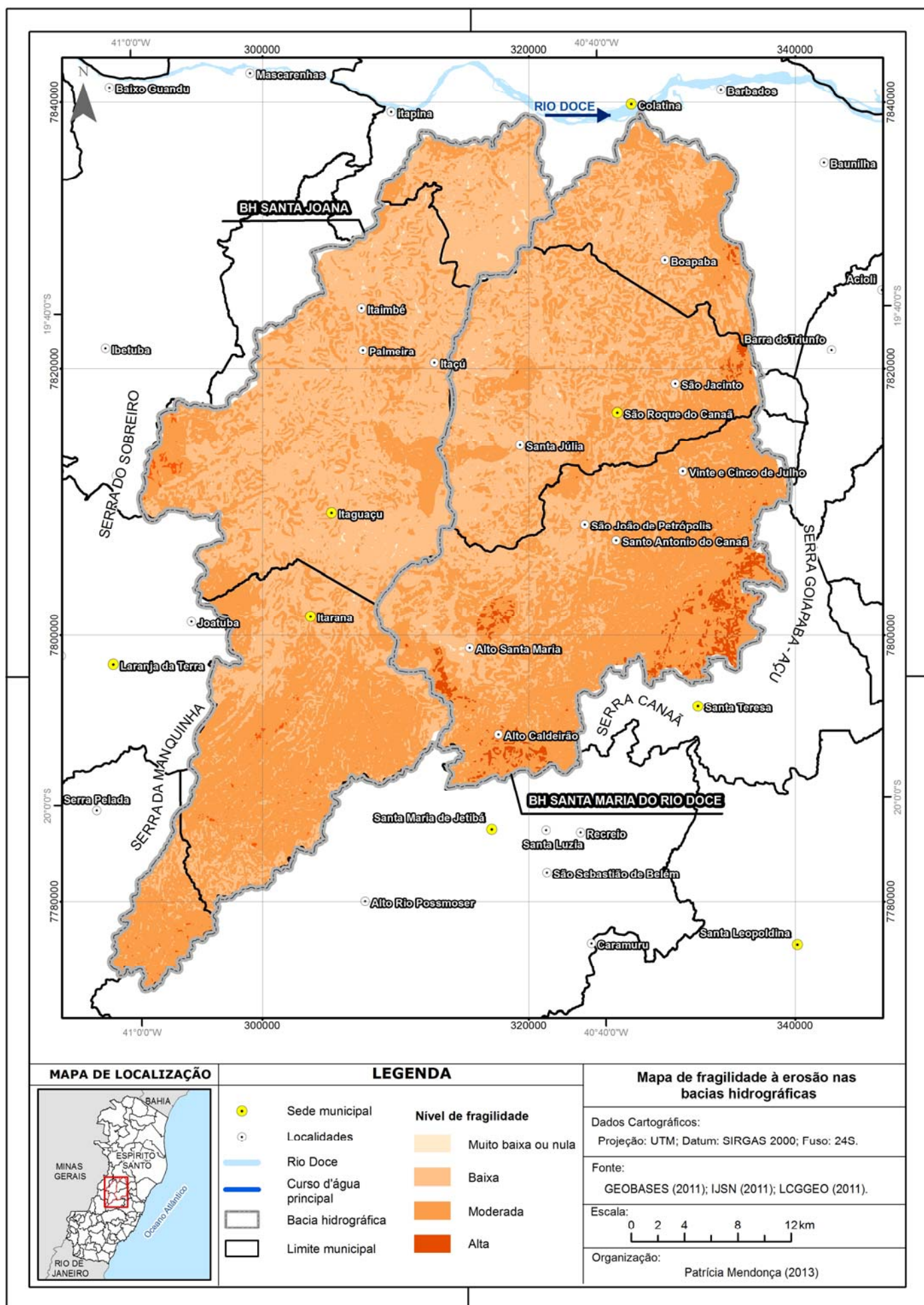


Figura 7-4: Mapa de fragilidade à erosão

Observa-se que o resultado da integração das variáveis no *raster calculator* anulou a classe 5 – muito forte fragilidade à erosão.

A média ponderada dos valores correspondentes às classes de fragilidade à erosão das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana foram 2,59 e 2,44, respectivamente. Estes valores são próximos e indicam que as fragilidades à erosão das duas bacias poderiam ser classificadas como baixa a moderada.

A figura 7-5 apresenta fotografia de área de baixa fragilidade à erosão tiradas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce, em trabalho de campo realizado no dia 30 de maio de 2013, a partir de local apresentando coordenadas 19°44'46"S - 40°45'51"O.



Figura 7-5: Área de baixa fragilidade à erosão na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce, próximo à localidade de Santa Júlia (foto da autora em 05/2013).



A figura 7-6 apresenta fotografia de área de baixa fragilidade à erosão tiradas na bacia hidrográfica do rio Santa Joana, em trabalho de campo realizado no dia 30 de maio de 2013, a partir de local apresentando coordenadas 19°54'06"S - 40°51'16"O.



Figura 7-6: Área de baixa fragilidade à erosão (indicada pela seta) na Bacia do rio Santa Joana próximo à localidade de Itaçu (foto da autora em 05/2013).

Áreas de baixa fragilidade a erosão geralmente apresentam predominância de Latossolos Vermelho-Amarelo, que são solos com baixa propensão a erosão. O relevo é plano ou suavemente ondulado, com declividades até 12%. As principais coberturas da terra na área são de vegetação e macega que contribuem para a proteção do solo a erosão causada pelo impacto das gotas d'água das chuvas.

A classe de fragilidade ambiental considerada baixa abrange 42,11%, que corresponde a 393,71 km<sup>2</sup>, da BH SM. Na bacia SJ predomina a proporção das áreas com baixa fragilidade à erosão, apresentando 485,50 km<sup>2</sup>, que equivale a 54,49% da sua área total.

As áreas que correspondem à moderada fragilidade a erosão são áreas que apresentam entre 12 e 20% de declividade, possuem índice de dissecação do relevo correspondendo à dimensão interfluvial média entre 750 e 1750 metros e grau de entalhamento dos vales entre 40 a 80 metros.

Os tipos de solo que predominam nas áreas de fragilidade moderada são os Latossolos Vermelho-Amarelo e os Argissolos Vermelho-Amarelo. Os principais usos da terra são pastagem, silvicultura e cultivo agrícola.

Na BH SM predomina fragilidade à erosão moderada. Apresenta 54,31% da sua área, equivalente a 507,79 km<sup>2</sup>, com essa fragilidade. A BH Santa Joana apresenta 43,28%, que equivale a 385,65 km<sup>2</sup> de sua área classificada como moderada.

Figura 7-7 apresenta fotografia de área de fragilidade moderada à erosão tirada na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce em trabalho de campo realizado no dia 30 de maio de 2013, a partir de local apresentando coordenadas 19°45'03"S - 40°44'04"O.



Figura 7-7: Área de moderada fragilidade à erosão na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce (foto da autora em 05/2013).

Figura 7-8 apresenta fotografia de área de fragilidade moderada à erosão tirada na bacia hidrográfica do rio Santa Joana em trabalho de campo realizado no dia 30 de maio de 2013, a partir de local apresentando coordenadas 19°56'18"S - 40°46'36"O.





Figura 7-8: Área de moderada fragilidade à erosão na bacia do rio Santa Joana (foto da autora em 05/2013).

As áreas que correspondem a forte fragilidade a erosão são áreas que apresentam entre 20 e 30% de declividade, possuem índice de dissecação do relevo correspondendo à dimensão interfluvial pequena entre 250 e 750 metros e grau de entalhamento dos vales forte, entre 80 a 160 metros.

Os tipos de solo que predominam nas áreas de fragilidade forte são os Cambissolos. O uso predominante nesse grau de fragilidade é cafeicultura e área urbana.

As proporções de áreas das bacias hidrográficas do rio Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana que apresentam forte fragilidade à erosão nas bacias são pequenas, corresponde a 2,84% e 0,96% respectivamente.

Figura 7-9 apresenta fotografia de área de forte fragilidade à erosão tiradas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce em trabalho de campo realizado no dia 31 de maio de 2013, a partir de local apresentando coordenadas 19°38'06"S - 40°34'13".



Figura 7-9: Área de forte fragilidade à erosão na bacia do rio Santa Maria do Rio Doce.

Figura 7-10 apresenta imagem de satélite de fevereiro de 2009 em área de forte fragilidade à erosão tiradas na bacia hidrográfica do rio Santa Joana apresentando coordenadas 19°44'08"S - 40°58'21"O.



Figura 7-10: Área de forte fragilidade à erosão na bacia do rio Santa Joana (fonte: Google Earth, 2009).

## 7.1 DESTAQUE DE SUB-BACIAS PARA INTERVENÇÕES DE CONTROLE DE EROÇÃO E MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

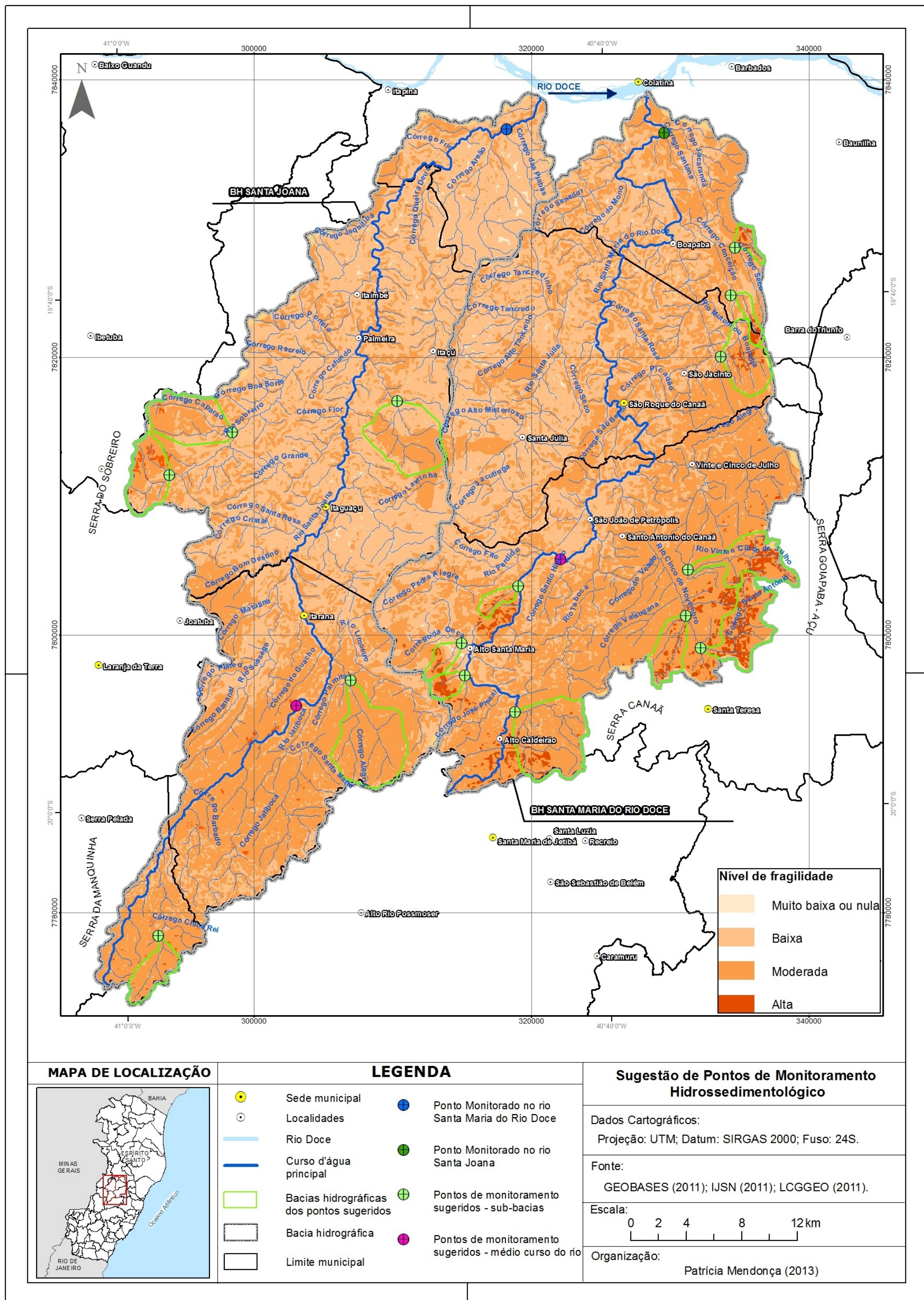
O mapa de fragilidade à erosão permite identificar as áreas das bacias hidrográficas com maior potencial de ocorrer erosão. Com isso, é possível priorizar ações visando à redução do aporte de sedimento nos cursos d'água das bacias hidrográficas.

A partir da classificação da fragilidade à erosão nas bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana foram delimitadas algumas sub-bacias em áreas apresentando parcelas com alto índice de fragilidade, para as quais seriam recomendáveis intervenções de controle da erosão (figura 7.1-1).

Na BH SM foram delimitadas dez sub-bacias em áreas que apresentam altos índices de fragilidade à erosão, enquanto que na BH SJ foram delimitadas cinco. Cabe observar que áreas com maiores índices de fragilidade ocorreram na Bacia do rio Santa Maria do Rio Doce.

Na desembocadura das sub-bacias delimitadas foram assinalados pontos nos quais se sugere monitorar alguns parâmetros hidrosedimentológicos, como vazão (Q) e concentração de sedimento em suspensão (Css).







## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo da pesquisa foi estimar potenciais de geração de sedimentos nas bacias hidrográficas dos rios Santa Joana e Santa Maria do Rio Doce e em seus cursos d'água, a partir da análise de dados hidrogeomorfológicos, hidrossedimentológicos e de mapeamento da fragilidade à erosão.

A caracterização das bacias hidrográficas permitiu a identificação dos cenários ambientais existentes nas bacias hidrográficas, com ênfase nas principais características que interferem nos processos erosivos.

A BH SM apresenta 53,39% e a BH SJ apresenta 53,85% de suas áreas com declividades entre 21 a 45%, faixas classificadas como de relevo fortemente ondulado e de forte fragilidade à erosão.

O índice de dissecação predominante nas bacias hidrográficas estudadas é o denominado D42, que corresponde à legenda "distância interfluvial de 5 a 10 km e forte aprofundamento dos vales". A BH SM apresenta 45,65% e a BH SJ 59,27% de suas áreas totais com esse grau de dissecação, que indica boas dissecações e fortes fragilidades à erosão.

O padrão de distribuição espacial da precipitação das bacias hidrográficas está fortemente influenciado pela topografia da região e a concentração de chuvas orográficas. O maior índice de concentração de precipitação pluviométrica na área de estudo ocorre na parte da bacia do rio Santa Maria do Rio Doce inserida no município de Santa Teresa, localizado na região serrana do Espírito Santo.

O tipo de solo predominante nas bacias Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana são os latossolos, que apresentam baixa erodibilidade. Os latossolos correspondem a 84,52% e 64,12% das áreas totais das bacias SM e SJ, respectivamente.

As atividades humanas nas bacias hidrográficas potencializam a erosão do solo. A classificação de uso e cobertura do solo indica que o uso pastagem, atividade de forte fragilidade à erosão, corresponde aos maiores percentuais de áreas: 35,34% na BH SM e 41% na BH SJ corresponde à pastagem.

A análise hidrogeomorfológica contribuiu para a interpretação hidrodinâmica e geomorfológicas da área de estudo. Os resultados dos parâmetros morfométricos que permitiram a análise hidrogeomorfológica não variaram significativamente entre as bacias hidrográficas analisadas.

Segundo os valores de Extensão do Percurso Superficial o material erodido transportado na BH SM percorre distância inferior para alcance dos cursos d'água do que na BH SJ. Os valores de densidade de drenagem indicam maior potencial de transferência de sedimentos na BH SM do que na BH SJ.

O rio Santa Maria do Rio Doce apresenta menor valor de gradiente do canal principal e a curva de tendência exponencial é menos côncava do que os correspondentes ao rio Santa Joana e, de acordo com estes parâmetros, apresenta maior tendência de deposição de sedimento no interior de sua bacia hidrográfica.

Em consequência do menor gradiente, o rio Santa Maria do Rio Doce possui maior sinuosidade que a apresentada pelo rio Santa Joana e, com isso, maior propensão à deposição de sedimentos, inundações de margens e baixas velocidades de escoamento em sua calha. O índice de sinuosidade do rio SM é aproximadamente 52 % superior ao do rio SJ.

Os valores de índice de circularidade e fator de forma calculados para a bacia do rio Santa Maria do Rio Doce foram 56,52 % e 94,44 % superiores ao correspondente à bacia do rio Santa Joana, indicando que apresenta forma mais circular e, por isso, maior propensão à ocorrência de grandes enchentes em sua foz.

Os resultados relativos ao índice de rugosidade da BHSJ (22,3 % superior em relação ao da BHSM) indica que a bacia do rio Santa Joana possui maiores valores de dissecação de relevo e transmissividade hidráulica em relação à bacia do rio Santa Maria do rio Doce.

O valor da diferença entre a Integral Hipsométrica e a Integral volumétrica (IH-IV) representa o material erodido na bacia hidrográfica. O valor IH-IV calculado para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce foi 22,5% superior ao correspondente à do Santa Joana.

Os valores descarga sólida de sedimentos em suspensão e produção específica da produção de sedimentos em suspensão obtidos a partir dos dados da pesquisa *“Modelagem e Proposição de Alternativas para a Minimização de Produção, Transporte e Deposição de Sedimentos e Melhoria de Qualidade de Água no Sistema Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Doce”* do rio Santa Maria do Rio Doce foram ligeiramente superiores aos correspondentes à do rio Santa Joana.

Cabe observar que esta diferença deve ser considerada com cautela, pois os resultados hidrosedimentológicos analisados correspondem a eventos de chuvas ocorridos em datas distintas e o transporte sólido em rios está relacionado com as características climáticas prevalentes nas bacias no período imediatamente anterior à campanha.

Também deve-se observar que o período de monitoramento hidrosedimentológico da área de estudo disponíveis para análise foi de apenas um ano, considerado curto para se obter uma caracterização do comportamento hidrosedimentológico no local monitorado.

O mapeamento da fragilidade à erosão contribuiu para entender espacialmente os principais focos de erosão nas bacias hidrográficas. A média ponderada dos valores correspondentes às classes adotadas no mapeamento de fragilidade à erosão da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce, 2,59, foi 6% superior à correspondente à bacia do rio Santa Joana, 2,44.

Nas seções transversais correspondentes aos exutórios dessas sub-bacias seria recomendável que fossem implantados pontos de monitoramento de transporte de sedimentos que permitiriam a avaliação da efetividade das ações de controle de erosão.

É recomendável a continuidade do monitoramento hidrosedimentológico no baixo curso dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana, além de se implementar mais novos pontos de monitoramento no médio curso dos rios.



Os resultados obtidos, de uma forma geral, indicam que a bacia do rio Santa Maria do Rio Doce possui potencial de geração de sedimentos ligeiramente superior ao correspondente à bacia do rio Santa Joana.

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram análise dos potenciais de geração de sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana.

O emprego de parâmetros de caracterização do relevo e da rede de drenagem permitiu avaliar hidrogeomorfológicamente as bacias hidrográficas em relação ao escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre o processo de erosão. Nesse sentido, os resultados obtidos indicam que a bacia do rio Santa Maria do Rio Doce apresenta potencial de erosão e acumulação de sólidos ligeiramente superior ao da bacia do rio Santa Joana.

Os resultados hidrossedimentológicos, apesar de limitados a alguns eventos de chuva, estão coerentes com os hidrogeomorfológicos. Entretanto, para melhor entendimento do comportamento hidrossedimentológico dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana se faz necessário contínuo monitoramento em diferentes seções transversais dos cursos d'água.

A análise integrada das características físicas das bacias hidrográficas e de uso e cobertura da terra é ferramenta importante para o entendimento espacial da erosão de solos e, conseqüentemente, para o planejamento e priorização de ações de controle ambiental.

Os métodos de análise utilizados na pesquisa demonstraram serem ferramentas importantes para o entendimento das dinâmicas erosivas nas bacias hidrográficas e com isso, importantes instrumentos para definição de futuros projetos de melhoria da qualidade da água.

Dentre as ações para controle de erosão podem ser citados reflorestamento, implantação de caixas seca nas estradas, adoção de práticas conservacionistas na agricultura e promoção da educação ambiental para conscientização a respeito da preservação do solo e dos recursos hídricos.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKLAS Jr. R.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; CASADO, F. C. **Análise de perfis longitudinais de drenagens do Município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas.** Revista ung – geociências, ano 6, n. 8, p. 64-78, 2003.

ALLEN, P.A., **Earth Surface Processes**, Blackwell, Oxford, 1997.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Hidroweb – 2007. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>> ou <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: abril 2013.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** 12ª Ed. Rio de Janeiro, RJ. Bertrand Brasil, 2007.

BABAR, M. **Hydrogeomorphology: Fundamentals Applications and Techniques.** Nova Delhi: NIPA, 2005, 274p

BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; RODRIGUEZ, R. M. **Identificação das possíveis fontes de contaminação das águas que margeiam a cidade do Rio Grande (RS).** Relatório Técnico - Oceanografia 06. v.1-33, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone Editora, 1990. p. 355

BOTELHO, R.G.M., SILVA, A.S., **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental** In: VITTE, Antônio Carlos, GUERRA, Antônio José Texeira. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Ed: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2007

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas.** Manual Operativo. Brasília, DF, Coordenação Nacional do PNMH, Ministério da Agricultura, 1987, 60 p.

CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO, H. F. E.; BECEGATO, V. A. 2011. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento.** In.: GeoFocus (Artículos), nº 11, p. 51-69.

CARVALHO, **Hidrossedimentologia Prática.** CPRM, Rio de Janeiro, 1994

CASSETI, V. **Geomorfologia.** [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em Julho 2011.

CASSOL, E.A., REICHERT, J.M. **Pesquisa em erosão do solo no Brasil. Aplicação: considerações metodológicas.** GEOUSP, Espaço e Tempo, São Paulo: Humanitas, n. 7, p.27-37, 2000.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas: comparação de metodologias e dados.** Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 2ª Edição.1980

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**, 2a. ed., São Paulo: Edgard Blucher, 313 p, 1981.

CHRISTOFOLETTI A., **Análise de Sistemas em Geografia.** Ed. Hucitec, São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica**, v. 9, n.18, p. 35-64, 1969.

COELHO A.L.N., **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES**, Rio de Janeiro/UFF, 2007.

CORDEIRO, S.F.O., CABRAL, J.B.P., **Análise da Concentração de Sedimentos em Suspensão e da Descarga Sólida da Bacia do Rio Doce em Jataí GO.** Monografia em Geografia. Universidade Federal de Goiás, 2010.

CUNHA, S.B.,**Geomorfologia Fluvial.** In: GUERRA, Antônio José Teixeira, CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252

DANTAS, M.E.; MEDINA, A. I.M.. **Geomorfologia da costa de descobrimento, sul da Bahia: município Porto Seguro e Santa Cruz de Cabrália.** Brasília: CPRM, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 1999.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Caracterização da Bacia EPD-1-40-0001 RE R4 In: Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia do Rio Doce. Rio de Janeiro, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J.A.J.; FULFARO, V.J. **Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas**, Revista do Instituto de Geociências da USP - Série Científica, v.4, n.2, p. 43-56, 2004.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J.A.J.; FULFARO, V.J. **Deteção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, região oriental paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem.** Geociências. São Paulo, 25:271-278, 2006.

FEITOSA, L. R.; STOCKING, M. & RESENDE, M. **Natural resources information systems for rural development: approaches for Espírito Santo State, Brazil.** Vitória, ES: INCAPER, 2001.

FERREIRA E.P.; FERREIRA J.T.P; FERREIRA A.C; PANTALEÃO F.S; SILVA W.C. **Evolução e análise das ações do comitê da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Rio Doce localizado no estado do Espírito Santo.** In: Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v.7, n 13, p. 1143-1153, out./nov. 2011.

FIGUEIREDO, A. G. **Análise da produção e transporte de sedimentos nas bacias do rio do Peixe e rio Aguapeí.** Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo. ABRH, 2v , 1989.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FLORENZANO,T.G. **Geomorfologia e Tecnologias Atuais.** São Paulo, ed. Oficina de Textos, 2008.

GEOBASES, Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>. Acesso dezembro 2012.

GOERL R.F.; KOBAYAMA M.; SANTOS I. **Hidrogeomorfologia: Princípios, conceitos, processos e aplicações.** In:Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.2, p.103-111 , Abr./Jun. 2012

GRANELL-PEREZ, M. C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas.** Ijuí: Ed. Unijuí, 2001. 128p.

GUERRA, J.T. A, MAÇAL S. M, **Geomorfologia ambiental.** Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA A.T. et al. **Novo Dicionário Geológico-geomorfológico.** Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1997,

GUERRA, A. J. T., SILVA, S. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos.** Editora Bertrand Brasil, 3º edição, 2007.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Bulletin of the Geological Society of America 56, 2 75-3 70, 1945.

IEMA, Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Ortofotomosaicos 2007/2008.

IJSN, Instituto Jones dos Santos Neves. Sítio Eletrônico. Projeto Dados Socioeconômicos. Disponível em: < [www.ijsn.es.gov.br/](http://www.ijsn.es.gov.br/) >. Acesso fevereiro 2012.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso maio 2012.

JATOBÁ, L.; LINS, R.C. **Introdução à Geomorfologia**. 4° ed. Recife: bagaço, 2003.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; & ROSS, J. L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Goiânia, 2005, p. 2203-2210.

LANA, C.E.; CASTRO, P.T.A. A. **Análise Morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil**. Rem: Rev. Esc. Minas. [online]. Apr./June 2001, vol.54, no.2 p.121-126.

MARQUES, J.S., **Ciência geomorfológica**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira, CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.23-50.

MILANESI, M.A., GALVANI, E.. **Efeito Orográfico Na Ilha De São Sebastião (Ilhabela – SP)**. In: Revista Brasileira de Climatologia, n.9, p.68-79, Jul./Dez. 2011.

MIRANDA E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 14 jul. 2008.

MENDES, I. A.; DANTAS, M.; BEZERRA, L. M. M.; **Geomorfologia**. In: Levantamento de Recursos Naturais, Folha SE 24. v. 34, ed.: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1987.

MOULTON, T.P., SOUZA, M.L. **Conservação com base em bacias hidrográficas**. In: Biologia da Conservação. pp. 45-52. Ed. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

NAIME, R., Geomorfologia na análise ambiental. **Ecodebate cidadania & meio ambiente**, 2011, <<http://www.ecodebate.com.br/2011/03/18/geomorfologia-na-analise-ambiental-artigo-de-roberto-naime/>> acesso em: 25 de maio de 2012.

NETTO, A.L.C. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira, CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252

OLIVEIRA, de D. **Capturas Fluviais como Evidências da Evolução do Relevo: Uma Revisão Bibliográfica**, In: Revista do Departamento de Geografia, n 20, São Paulo, 2010. p. 37-50.

OLIVEIRA, J.B. de, **Pedologia Aplicada**, Piracicaba/SP. Ed. FEALQ, 2011

OLIVEIRA, M.A.T. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca**. In: GUERRA, A.J.T. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999

PARH Santa Maria do Doce, **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise Santa Maria do Doce**, 2010. Consórcio Ecoplan-Lume.

PIRH Bacia Hidrográfica do Rio Doce. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce**. Volume I – Relatório Final. 2010. Consórcio Ecoplan-Lume

Projeto Radambrasil – Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. V. 32. Folhas SE 24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro. IBGE. 1987. 554 p.

QUEIROZ F.L.L, **Aspectos da dinâmica hidrossedimentológica e do uso e ocupação do solo na bacia do córrego arapuá (MS)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2011.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ROSS, J.L.S., **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J.L.S., “**Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**”. In: Revista do Departamento de Geografia nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J.L.S., “**Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental**”. In: Revista do Departamento de Geografia nº9, FFLCH-USP, São Paulo, 1995

ROSS, J.L.S., “**O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**”. In: Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP, nº 6, São Paulo, 1992.

ROSSI, M.; PFEIFER, R.M. **Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP)**. Bragantia, Campinas, v. 58, n.1, p.141-156, 1999.

SALGADO A.A.R., **Geomorfologia Brasileira: Panorama Geral da Produção Nacional no Início do Século XXI (2001-2005)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v9, n.01, 2008, p. 85-91

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e Prevenção dos processos erosivos**. In: Guerra, T.A.J.; SILVA, A .S. & BOTELHO, R.G. (org) **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap. 7, p.229-65.

SAMPAIO, A. C., S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do Alto Paraguai**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, Campo Grande, 2003.

SANTOS, J.H.G. VIEIRA, E.I. SILVA, G.B. (1987). **Pedologia. Levantamento exploratório de solos**. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SE.24 Rio Doce. Levantamento de Recursos Naturais N° 34. Rio de Janeiro. pp. 229-352.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina deTextos, 2004.

SCHNEIDER, V., **Mapeamento geomorfológico e zoneamento ambiental de fragilidade na bacia hidrográfica do Rio Barra Seca – Espírito Santo. 2012**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação e Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Vitória, 2011.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. São Paulo, Revista Geosp – Espaço e Tempo, N°15, pp. 39-49, 2004.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona. Ediciones Omega, 1986.

STRAHLER, A.N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**. Bulletin of the Geological Society of America, Colorado, 63: 1117-1141, 1952.

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans. Am. Geophys. Union, New Haven, v. 38, p. 913-920, 1957.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais**. 2 ed. Florianópolis: UFSC/UFPR, 1990.

SILVA, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003



TUCCI, C.E.M., org.. **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Ed. Da Universidade - UFRGS / Ed. da Universidade de São Paulo – EDUSP / Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH.1993

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Supen. R. de Janeiro. Fund. IBGE, 1977.

TUNDISI, J.G, TUNDISI T.M., PARESCHI D.C, LUZIA A.N., HAELING P.H.V, FROLLINI E.H., **A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento**. In: Estudos Avançados, São Carlos, v.22,n 63, p.159-172, Jun/2008

VIEIRA, N.M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca (SP)**. Franca, 1978. 225p. (Tese de Doutorado)-Instituto de História e Serviço Social/UNESP, 1978.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WERLANG, M.K. **Configuração da rede de drenagem e modelado do relevo: Conformação da paisagem na zona de transição da Bacia do Paraná na Depressão Central do Rio Grande do Sul**, 2004. Tese (Doutorado em ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria

YANG, C. T. **Sediment transport: Theory and practice**. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996.

## 10 ANEXO



SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÃO, EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TRABALHO



<b>PROJETO DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA</b> <b>Síntese dos Resultados</b>	<b>PROCESSO Nº</b> <b>47809965/2009</b>
--	--

### **- Objetivos Propostos**

- 1 - Estudar o uso e ocupação de duas bacias de afluentes do rio Doce com priorização de aspectos relacionados com sedimentos e qualidade de água.
- 2 - Avaliar o transporte de sedimentos nos locais estudados.
- 3 - Estudar a espacialização da produção de sedimentos nos locais escolhidos, através da aplicação do modelo SWAT, comparando valores simulados com valores medidos em dois níveis de detalhamento, em nível de sub-bacias e em nível de microbacias.
- 4 - Estudar a inter-relação atividades antrópicas x sedimentos e qualidade de água, nas áreas estudadas.

### **- Resultados obtidos e conclusões**

- *Avaliação do transporte de sedimentos, para diversas condições, em seções transversais do rio Doce, rio Santa Maria do Rio Doce, Santa Joana e córregos Santa Júlia e Sossego.*
- *Diversos mapas temáticos relativos a fatores relacionados com erosão.*
- *Definição, nas bacias e subbacias, de áreas prioritárias para intervenções com vistas ao controle de erosão.*
- *Análise da utilização de imagens de satélite em estimativas de transportes em suspensão na calha principal do rio Doce*
- *Análise da variação do transporte de sólidos em suspensão na calha do rio Doce*
- *Artigos científicos, dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de cursos*

- *Melhoria significativa das condições do laboratório de monitoramento ambiental para atividades de campo*

- *Modelagem de qualidade de água ao longo dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana*

*Concluiu-se que a metodologia adotada permite a priorização de áreas para intervenções em bacias hidrográficas e aumento da relação benefício-custo destes de investimentos, sendo replicável em outras subbacias do rio Doce.*

- *Definição, nas bacias e subbacias, de áreas prioritárias para intervenções com vistas ao controle de erosão.*

- *Análise da utilização de imagens de satélite em estimativas de transportes em suspensão na calha principal do rio Doce*

- *Análise da variação do transporte de sólidos em suspensão na calha do rio Doce*

- *Artigos científicos, dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de cursos*

- *Melhoria significativa das condições do laboratório de monitoramento ambiental para atividades de campo*

- *Modelagem de qualidade de água ao longo dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana*

**– Listar os Equipamentos de P&D adquiridos e laboratórios expandidos e/ou implantados**

DESCRIÇÃO / APLICAÇÃO : Foram adquiridos 13 (treze) itens de capital durante a vigência do projeto, são eles:

- ADCP River Ray: equipamento utilizado para medição de vazão e estimativas de sólidos suspensos no rio Doce.

- Amostradores ativos programáveis: utilizados para coleta de amostra de água ao longo do tempo nas microbacias.

- Molinete fluviométrico: equipamento utilizado nas medidas de velocidade da água dos rios nas sub e micro-bacias.

- Estações climatológicas: instaladas nas microbacias, para obtenção de dados de: índice pluviométrico, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, umidade do ar, temperatura do ar, radiação solar.

- Limnígrafos: equipamentos utilizados para a obtenção de dados de nível de água em rios das microbacias.

- Amostrador de leito para coleta de sedimentos de arrasto: utilizado em todas as seções de monitoramento.
- Barco: embarcação utilizada nas medições de campo.
- Computadores: utilizados para tratamento de dados, geoprocessamento e elaboração de relatórios.
- Balança analítica de precisão: utilizada nos ensaios de filtração, peneiramento e tubo de retirada pela base.
- Vibrador de peneiras: equipamento utilizado nos ensaios de peneiramento dos sedimentos.
- Jogo de peneiras: peneiras utilizadas no ensaio de peneiramento dos sedimentos.
- Ecobatímetro: equipamento utilizado para levantamento de seções batimétricas no rio Doce.